ATTI

Convegno scientifico della Rete Italiana LCA

Palermo

11 e 12 giugno 2009

A cura di Francesca Cappellaro e Simona Scalbi

CONVEGNO SCIENTIFICO DELLA RETE ITALIANA LCA

PALERMO - 11 E 12 GIUGNO 2009

A CURA DI

FRANCESCA CAPPELLARO E SIMONA SCALBI

Indice

INTRODUZIONE

Anche quest'anno la Rete Italiana LCA ha promosso un evento nazionale che, in linea con la mission del network, ha lo scopo di diffondere metodologie e buone pratiche sullo stato dell'arte e sulle prospettive del Life Cycle Assessment in Italia. Il Convegno annuale della Rete Italiana LCA si propone come un'importante occasione di confronto e di incontro fra coloro che operano in Italia nel campo del Life Cycle Analysis. Durante il convegno i partecipanti hanno l'occasione, oltre che di presentare i propri lavori di ricerca e di sperimentazione, anche di trovare momenti di approfondimento su tematiche riguardanti lo sviluppo dell'LCA sia da un punto di vista metodologico sia per quanto concerne lo sviluppo applicativo e settoriale.

L'evento di quest'anno si è svolto nei giorni **11-12 giugno 2009 presso la Facoltà di Ingegneria di Palermo** e le principali finalità sono state quelle di fornire una presentazione molto approfondita di temi specialistici e di stato dell'arte della metodologia LCA, con scopo anche formativo.

Per raggiungere questi obiettivi l'evento è stato organizzato in due giornate: uno **Workshop**, che ha approfondito temi specialistici anche con riferimento a nuovi percorsi di ricerca e un **Convegno** rivolto maggiormente alla diffusione e promozione della metodologia LCA in particolari settori, con la presentazione anche di casi applicativi.

Nel Workshop sono state presentate nuove linee di ricerca nel campo della LCA attraverso l'esperienza del progetto CALCAS. L'obiettivo di questo progetto è di individuare linee di ricerca tali da rendere i sistemi di valutazione basati su approccio di ciclo di vita più coerenti con il concetto generale di Sviluppo Sostenibile, e ciò in termini di integrazione tra aspetti ambientali, economici e sociali, compendiando anche le dimensioni spazio-temporali. Il compito di CALCAS è di individuare le linee per lo sviluppo di una "new LCA" più rispondente ai bisogni degli organismi pubblici, delle imprese, dei consumatori e del mondo della R&S. Tra le tematiche di estensione dell'LCA sono state analizzate quelle inerenti l'integrazione dei costi mediante il Life Cycle Costing e l'Analisi Input-Output. Attraverso la loro applicazione nella contabilità ambientale d'impresa, si sono evidenziati problemi di coerenza dell'analisi dei costi con l'analisi ambientale. Per quanto riguarda gli approfondimenti metodologici, le procedure di allocazione rimangono ancora oggi uno dei nodi di ricerca aperti negli aspetti computazionali dell'inventario. Attraverso alcuni algoritmi si sono presentati nuovi approcci risolutivi per evitare, laddove possibile, tali procedure. I temi scelti hanno avuto lo scopo di presentare le integrazioni esistenti e in via di studio tra LCA ed altri strumenti di analisi e valutazione sia ambientali, che economici e sociali. Un particolare approfondimento ha poi riguardato alcune metodologie emergenti con approccio al ciclo di vita, quali la Carbon Footprint, con vari esempi applicativi di calcolo di tali impatti.

Il Convegno del 12 giugno ha presentato aspetti più applicativi della LCA, rivolgendo l'attenzione su tematiche di grande attualità e di significativa importanza, anche per il contesto produttivo siciliano, quali edilizia, energia e turismo. Per il comparto turistico, la presentazione ha trattato gli approcci quantitativi e il miglioramento della sostenibilità dei servizi turistici fondati sulla metodologia LCA. Tra le applicazioni della metodologia LCA si va dal caso studio della pasta Barilla a quella delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia. Particolare spazio è stato dedicato al settore edile, per l'importanza nel contesto produttivo nazionale e regionale e la consistenza del comparto in termini di consumi di energia primaria e di impatti ambientali indotti. I temi trattati, sempre ispirati al Life Cycle Thinking, hanno riguardato iniziative e percorsi normativi verso la sostenibilità in edilizia, il marchio Ecolabel applicato agli edifici, i programmi di ricerca LCA del distretto ECODOMUS, che rappresenta una delle poche esperienze nazionali di distretto produttivo incentrato sulla filiera delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili e dell'edilizia sostenibile.

Novità di quest'anno, grazie al contributo di AssoSCAI (Associazione per lo Sviluppo della Competitività Ambientale di Impresa), è stata l'istituzione di un premio rivolto a giovani ricercatori che hanno sviluppato nuove linee di ricerca nel campo della metodologia LCA e della sua integrazione con altri strumenti di valutazione della sostenibilità. Negli Atti sono pubblicate le relazione scientifiche dei candidati che si sono particolarmente distinti per le tematiche di ricerca, per l'innovazione ed i risultati raggiunti. Questa iniziativa ha voluto incentivare la ricerca tra i giovani, promuovendo e divulgandone le loro attività. Infatti, la diffusione della LCA passa anche attraverso i giovani; valorizzando e incoraggiando il loro lavoro si vuol far crescere una nuova generazione di ricercatori, che sia sempre più protagonista nel mondo della ricerca italiana.

La Rete Italiana LCA si sta sempre più affermando come una realtà volta a svolgere un ruolo sempre più attivo nella promozione dell'applicazione dell'LCA in Italia. Diffondere l'LCA tra le imprese, la pubblica amministrazione e nei diversi contesti territoriali, può fornire una base per la creazione di *capacity building*, ossia di quelle capacità e competenze necessarie per orientare la società verso una produzione e un consumo più sostenibile.

Francesca Cappellaro Simona Scalbi

Rete Italiana LCA

NUOVE LINEE DI RICERCA IN CAMPO LCA:
VERSO UNA LIFE CYCLE SUSTAINABILITY ANALYSIS

A. Zamagni (alessandra.zamagni@enea.it), R. Buonamici, P. Masoni

ENEA, Laboratorio LCA&Ecodesign, Bologna

ABSTRACT

La standardizzazione della LCA nella serie ISO 14040 ha contribuito alla sua rapida crescita, ma al tempo stesso ha comportato alcune semplificazioni e limitazioni, evidenti nel momento in cui si devono esaminare sistemi di maggiore complessità o valutare le conseguenze nel lungo periodo di scelte tecnologiche e programmatiche.
Sul piano scientifico, negli ultimi anni sono stati numerosi gli approcci proposti per superare queste limitazioni, con due principali finalità: da un lato, migliorare l'attendibilità e praticabilità dell'LCA, così da renderla uno strumento più robusto e favorirne una maggiore diffusione; dall'altro, approfondire ed ampliare la metodologia verso una Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA), un quadro di riferimento per valutazioni più coerenti con il concetto di sostenibilità, in cui si possano tenere in considerazione (quantitativamente e qualitativamente) più meccanismi e relazioni e non solamente quelle di natura tecnologica, più aspetti e non solamente quelli ambientali.
In questa nota si andranno a definire gli sviluppi dell'attuale ISO-LCA verso una LCSA, delineandone in particolar modo le principali caratteristiche, il ruolo che la ISO-LCA riveste in questo quadro di riferimento e le relative linee di ricerca nel breve periodo.

1. Introduzione

Negli ultimi anni è andato sempre più radicandosi l'importanza dell'approccio ciclo di vita nelle valutazioni di sostenibilità in quanto, grazie al suo approccio sistemico, consente di evitare lo slittamento dei problemi da una fase all'altra del ciclo di vita, da un comparto all'altro, e di cogliere e analizzare il problema nella sua interezza e complessità. A livello europeo rappresenta un elemento di qualificazione in tutti i campi dov'è richiesta una valutazione della sostenibilità: è centrale nel recente Piano per la Produzione e il Consumo Sostenibile, così come lo è stato nella direttiva EuP, in quella sui rifiuti, nell'ETAP (Environmental Technologies Action Plan). Inoltre, la Comunicazione sulla IPP [1] riporta espressamente che "*LCA attualmente fornisce il miglior framework per valutare i potenziali impatti ambientali dei prodotti*".
Queste iniziative a livello europeo dovrebbero avere una controparte a livello nazionale e industriale, ambito quest'ultimo in cui la metodologia LCA ha i maggiori potenziali. Anche a questo livello, tuttavia, le applicazioni dell'LCA non sono state così estese quanto aspettate. La motivazione può essere duplice: da un lato l'LCA mostra delle complessità, relative in particolare alla disponibilità di dati, accesso ai dati, procedure semplificate e strumenti software, elementi che la rendono di difficile applicazione, soprattutto da parte delle piccole e medie imprese (PMI). Dall'altro invece, quando si devono valutare sistemi complessi che hanno un forte impatto sull'intero sistema economico, l'ISO-LCA mostra i suoi limiti, in quanto non è in grado di modellizzare molti effetti che sarebbero invece rilevanti a quella scala. A fronte di questa situazione la comunità LCA ha reagito mettendo in piedi iniziative volte a garantire una maggiore praticabilità della metodologia (es. Piattaforma Europea sull'LCA – EPLCA), avviando progetti finalizzati all'armonizzazione delle banche dati e alla messa a disposizione di linee guida per una maggiore robustezza delle applicazioni. In parallelo, molti ricercatori hanno invece proposto approcci che vanno nella direzione di una LCA più approfondita (maggiori meccanismi) e con un ambito di applicazione più esteso (inclusione aspetti economici e sociali), per renderla più coerente con le valutazioni di sostenibilità. Questo problema è stato affrontato da CALCAS[1] sviluppando un framework per la Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA) all'interno del quale ricomprendere, in

[1] CALCAS[1] (Co-ordination Action for innovation in Life Cycle Analysis) è un progetto del VI PQ finalizzato ad identificare le linee di ricerca nel breve, medio e lungo periodo per gli sviluppi della LCA verso un Life Cycle Sustainability Analysis (LCSA).

una struttura unitaria, la molteplicità di modelli e strumenti da utilizzare secondo le specifiche esigenze della domanda di sostenibilità in esame.
Nei paragrafi successivi si fornirà una descrizione del framework per LCSA, illustrandone le principali caratteristiche, e si approfondiranno in particolare le linee di ricerca nel breve periodo per analisi di sostenibilità di sistemi di limitata complessità, dove la ISO-LCA, migliorata in alcuni aspetti, mantiene la sua validità.

2. Le valutazioni di sostenibilità

Il tema delle valutazioni di sostenibilità è da tempo oggetto di dibattito scientifico: esso infatti sfugge per sua natura ad ogni semplificazione, con controverse interpretazioni sul piano sia sociale che scientifico. Le complessità del tema sono a diversi livelli: diversificate tipologie di problemi da affrontare (prodotto, tecnologie, infrastrutture, indirizzo strategico), i portatori d'interesse (consumatori, pubblica amministrazione, R&D, NGOs) e il sistema d'interrelazioni, elementi cui si deve aggiungere una componente di soggettività, sempre presente quando entrano in campo anche scelte di valore, e infine l'incertezza, che non può essere eliminata ma deve essere controllata.
Questa variabilità e multidimensionalità è stata analizzata in particolare dal lato della domanda dei diversi portatori di interesse e può essere ricondotta a tre sistemi-tipo:

- *Sistemi micro*, caratterizzati da una limitata complessità e incertezza, con conseguenze limitate sia nel tempo che nello spazio. Principali campi d'applicazione: analisi di prodotti/servizi per identificare possibili opzioni di miglioramento. Per queste applicazioni si richiede che i modelli e gli strumenti a disposizione siano semplici, di facile uso.
- *Sistemi meso*, caratterizzati da una maggiore complessità e incertezza, e con effetti di medio/lungo periodo. Principali campi di applicazione: infrastrutture/sistemi ecc. In questo caso si richiede un utilizzo prevalente di metodi analitici rispetto a quelli di natura procedurale, il coinvolgimento dei diversi stakeholder, la valutazione degli effetti di rimbalzo ecc.
- *Sistemi macro,* caratterizzati da elevata complessità e incertezza, con effetti rilevanti a tutti i livelli. Principali campi d'applicazione: tecnologie in fase di R&D, in generale scelte con una bassa reversibilità. È necessario in questo caso valutare tutte le relazioni e i meccanismi rilevanti, adottare sia metodi procedurali sia analitici, coinvolgere tutti i portatori d'interesse.

Da questa caratterizzazione del tema sostenibilità è scaturita l'impostazione della LCSA, intesa come "metastruttura" unitaria all'interno della quale si vanno ad articolare tre linee di sviluppo, *product-level LCSA*, *sector level LCSA*, *economy-wide LCSA*, come risposta alle tre tipologie di bisogno e livelli di complessità individuati.
Occorre tener presente che non mancano approcci e metodi specifici per affrontare il tema della sostenibilità a determinati livelli e per precisi problemi [2]: l'elemento cruciale è stabilire il sistema di relazioni tra i diversi metodi e modelli, avendo come obiettivo generale una accettabile riduzione della complessità e il controllo delle incertezze. Uno degli obiettivi di CALCAS è stato quello di affrontare quest'aspetto all'interno dell'impostazione unitaria della LCSA, individuando metodi e percorsi per costruire la necessaria visione d'insieme della sostenibilità, senza perdere l'approccio analitico e di sistema tipico della LCA.

3. Life Cycle Sustainability Analysis

Un'analisi di Huppes & Ishikawa (2009) [3] ha affrontato il tema delle relazioni dinamiche di una tecnologia con il contesto socio-economico dal punto di vista dei modelli e metodi analitici disponibili per il supporto alle decisioni di sostenibilità. Questo studio, ulteriormente elaborato in CALCAS, propone che il complesso sistema di relazioni di una tecnologia con l'ambiente, l'economia e la società sia riconducibile a sei tipologie di relazioni o meccanismi [3, 4], ognuno dei quali afferisce ad un preciso ambito disciplinare con propri metodi, modelli e strumenti da applicare. I meccanismi sono i seguenti:

- relazioni tecnologiche, comunemente trattate dall'LCA, estesa però anche agli aspetti economici e sociali;
- relazioni micro-economiche, che descrivono i meccanismi di mercato;
- meccanismi ambientali;
- relazioni fisiche, comunemente trattate da modelli quali MFA;
- relazioni macro-economiche;
- relazioni socio-politiche, più di carattere qualitativo, che pongono l'accento su aspetti quali l'accettabilità, l'adattabilità ecc.

Questi diversi meccanismi non possono evidentemente far parte di un unico super modello, per ragioni concettuali, computazionali e di fattibilità. Il sistema di riferimento è unico, ed è rappresentato dal framework per LCSA, mentre i singoli metodi/strumenti utilizzati all'interno per descrivere le diverse relazioni cambiano, secondo la specifica domanda di sostenibilità cui si intende dare risposta.

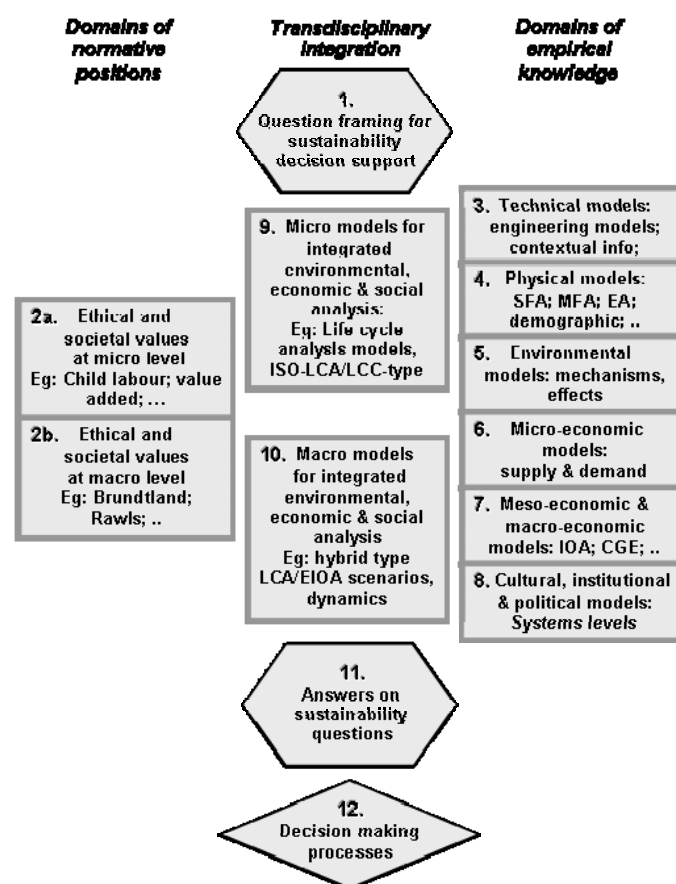



Fig. 1 – *Framework per LCSA*

Il framework, rappresentato in Fig. 1, ha le seguenti caratteristiche:

- Due sono i domini di conoscenza da considerare, quello di natura normativa (legato agli elementi etici e valoriali) e quello di natura empirica, che comprende il catalogo di meccanismi descritto in precedenza e i modelli in grado di analizzarli;
- Tutti i meccanismi sono rilevanti e devono essere presi in considerazione, anche solo a livello qualitativo, quanto si approccia il problema dell'analisi di sostenibilità,;
- I meccanismi devono essere analizzati non separatamente uno dall'altro ma in modo integrato, valutando il più possibile le interazioni che si generano.

TOPICS	MOST DEBATED ISSUES	RESEARCH NEEDS
System boundaries	- Reducing or eliminating the need for cut-off decisions - Developing knowledge and methods to improve the basis for cut-off decisions - Defining other types of system boundaries	No one method stands out but the consequential approach opens new thoughts. More efforts are required regarding the development of: - more case studies - procedural guidelines
Consequential LCI	- Identification of what type of marginal effects should be included in the consequential LCA - identification of the marginal technology	- Need of accumulated experience from successful LCAs and guidelines for applications
Allocation	- How the environmental burdens should be allocated	- Reach an agreement on which allocation approach is the most appropriate in different cases - Develop and agree upon a text clear and flexible enough to give adequate guidance on allocation in LCAs with different purposes.
Uncertainty analysis	- Parameter uncertainty - Model Uncertainty - Scenario Uncertainty	- Guidance on which specific technique is better to use in which context - A more detailed investigation of the parameters' interdependencies - Need of framework helpful for identifying significant sources of uncertainties - Increased number of good practices
Data quality assessment	- No major new insights or progresses since the end of 1990's	- Work on reaching harmonisation and agreement among the methods already available
Simplified LCA	- No major new insights or progresses since the end of 1990's	- Reach consensus on when and how to simply the analysis
Environmental Life Cycle Costing		- Increased number of good practices - availability of databases

Tab. 1 – *Principali bisogni di R&S relativi alla ISO-LCA*

4. LCSA: il ruolo dell'ISO-LCA e i suoi sviluppi

All'interno del framework per la LCSA, l'ISO-LCA rientra come caso particolare, nello specifico per applicazioni a livello micro o di prodotto, in cui gli aspetti temporali e le influenze del mercato sono trascurabili, in cui i dati sono disponibilità e la variabilità, la complessità e le incertezze possono essere considerate "piccole". Per questo motivo, verranno discusse le linee di ricerca di breve termine per superare in particolare alcuni dei limiti di praticabilità della ISO-LCA, tenendo sempre conto del quadro molto più ampio della LCSA in cui inserirsi.
Infatti, nonostante la metodologia abbia raggiunto un buon grado di sviluppo e applicazione, esistono ancora delle barriere che ne ostacolano una più ampia diffusione. Un'analisi [5] relativa ai bisogni di valutazione della sostenibilità da parte di organi pubblici, imprese, consumatori e mondo della R&S, ha messo in luce che, nonostante il contesto decisionale sia multi – sfaccettato (differenti tipologie di decisioni, attori coinvolti, problemi da analizzare), gli utilizzatori sono concordi nell'affermare quanto segue:

- LCA è considerato un modello per esperti, la cui applicazione richiede un eccessivo investimento di risorse, e i cui risultati sono spesso difficili da interpretare;
- Pochi sono coloro veramente interessati ai risultati di una LCA di dettaglio;
- I database attualmente disponibili non sono in grado di coprire la varietà della produzione industriale.

Hanno quindi manifestato le seguenti aspettative in tema di sviluppo dell'approccio ciclo di vita:

- interfacce semplici, adattate alle caratteristiche dell'applicazione o del settore;
- standard chiari per la raccolta dati;
- modelli meno complessi
- maggiore trasparenza;
- diversa risoluzione geografica dei dati
- integrazione degli aspetti economici nell'LCA.

Se si vanno ad incrociare questi requisiti con le principali linee di sviluppo attuali della ISO-LCA [6], si identificano (Tab. 1) gli ambiti di ricerca su cui la comunità scientifica dovrebbe convergere nel breve periodo.

5. Linee di ricerca per la ISO-LCA nel breve periodo

Sulla base degli ambiti di ricerca descritti in Tab.1, è stata delineata al seguente road map per la ricerca sull'ISO-LCA nel breve periodo (Fig. 2).
Il percorso che parte dall'ISO-LCA e arriva a mettere a disposizione una LCA più rispondente ai bisogni di oggi, migliorata, consiste di 4 stadi (S1 – S4), ognuno dei quali incorpora specifici aspetti metodologici da sviluppare. I quattro stadi si traducono nelle seguenti linee di ricerca:

- *Miglioramento della praticabilità della ISO-LCA*. Elementi di ricerca: qualità dei dati e loro gestione; incertezza; confini dei sistemi e allocazione.
- *Approccio consequenziale*. Elementi di ricerca: dati marginali
- *Allargamento dell'ambito di applicazione agli aspetti economici*. Elementi di ricerca: Environmental Life Cycle Costing
- *Semplificazione*, relativa sia alla metodologia sia agli strumenti software.

Lo sviluppo di queste linee di ricerca porterà ad avere una metodologia più robusta e trasparente, elementi che indubbiamente avranno un risvolto positivo anche sulla fase di interpretazione, la quale ha ricevuto scarsa, se non addirittura alcuna, attenzione da parte della comunità LCA.

Di fatto, non sono ravvisabili progressi o nuovi sviluppi rispetto a quanto proposto alla fine degli anni 90: quella dell'interpretazione sembra essere una zona franca, in cui la mancanza di una chiara guida procedurale nel framework ISO ha legittimato uno scarso sviluppo. Sono invece necessarie chiare procedure su come interpretare risultati e trarre raccomandazioni in modo trasparente, così da poter comunicare i risultati di uno studio di LCA nel modo migliore e più efficace.

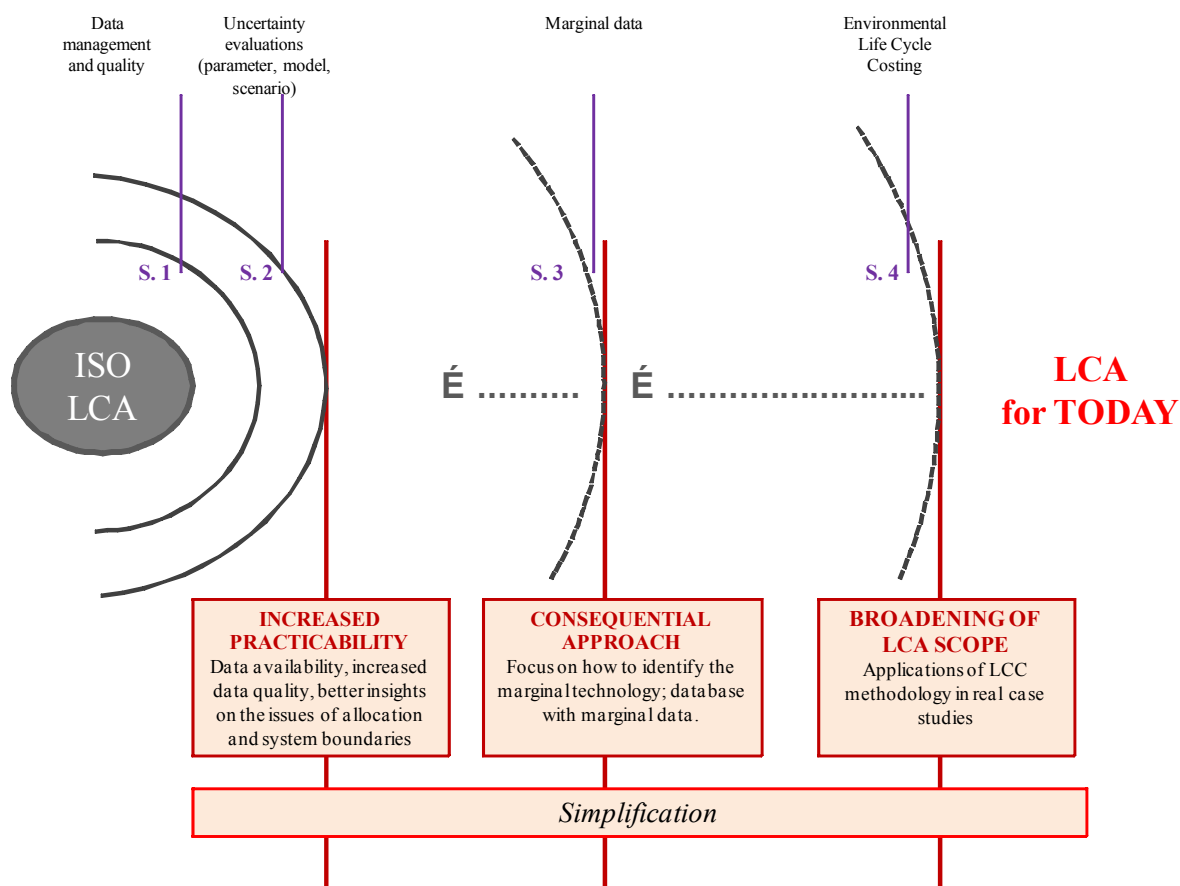



Fig. 2 – *Linee di ricerca relative alla ISO-LCA*

All'interno di queste linee di sviluppo, che non si devono necessariamente sviluppare in serie ma possono essere perseguite in parallelo, si possono identificare delle priorità d'intervento nell'arco dei prossimi 3-5 anni:

- *1° Praticabilità e semplificazione*. L'attuale LCA deve fornire risultati robusti, elemento che richiede di intervenire su due aspetti principali: la disponibilità/qualità dei dati e la semplificazione. Quest'ultima è trattata nel paragrafo 5.1
- *2° Life Cycle Costing*. La metodologia è stata sviluppata e recentemente pubblicata [7]; le principali linee d'intervento sono quindi rivolte a sviluppare approcci integrati di LCA ed LCC, favorendo l'applicazione a numerosi casi studio.
- 3° *Approccio consequenziale*. Rappresenta un grande passo avanti nello sviluppo metodologico, in quanto consente, anche se in maniera ancora non esaustiva, di includere le dinamiche di mercato all'interno dell'LCA. Al momento l'approccio è per lo più limitato all'applicazione dei concetti di dati marginali ed espansione dei confini [8, 9, 10, 11], due elementi la cui determinazione e definizione sono affette da incertezze, e che richiedono quindi di essere ulteriormente sviluppati.

Il raggiungimento di queste caratteristiche richiede di intervenire non solamente a livello di sviluppo metodologico, che pure è indispensabile, soprattutto su temi quali l'allocazione, i confini dei sistemi, l'analisi d'incertezza ecc. Molti sforzi devono essere posti per rafforzare il processo di consenso, soprattutto su quegli aspetti che sono piuttosto maturi, ma che richiedono un'armonizzazione a livello europeo e internazionale. Da questo punto di vista, le attività portate avanti dall'EPLCA e dall'UNEP SETAC Life Cycle Initiative rappresentano il contesto giusto per condurre tale dibattito.

5.1 Semplificazione

La semplificazione è senza dubbio un elemento di ricerca chiave, che richiede di intervenire sia con strumenti software sia a livello metodologico, aspetto quest'ultimo che ha ricevuto una minore attenzione, tanto che ad oggi non esiste un approccio comprensivo al problema della semplificazione.
Il processo di semplificazione interviene sia a livello d'inventario (LCI) che di valutazione d'impatto (LCIA). Fatta eccezione per l'utilizzo dell'analisi input-output e degli approcci ibridi[2] – pur fornendo interessanti soluzioni, sono affetti ancora da diverse limitazioni che richiederebbero un maggiore tempo per la ricerca – la semplificazione nell'inventario consiste nella semplificazione della modellizzazione dei processi. Non è semplice identificare una modalità unica per semplificare in quanto la scelta dipende fortemente dalle applicazioni previste, ma il processo di semplificazione è facilitato quando si hanno a disposizione studi dettagliati di LCA per le specifiche applicazioni. Un'LCA di dettaglio consente quindi a posteriori di identificare le fasi e gli aspetti del ciclo di vita più salienti, per i quali occorre avere a disposizione dati primari, e quelli invece in cui l'utilizzo di banche dati generiche è accettabile, e di selezionare le categorie d'impatto su cui concentrare l'analisi.
Queste considerazioni hanno portato ad identificare l'approccio settoriale come quello più appropriato per dare risposta al problema della semplificazione. A questo riguardo ENEA [12] ha messo a punto un approccio che si articola nei seguenti punti:

- Identificazione del meta-prodotto oggetto dell'analisi, descrizione del processo produttivo e della catena di fornitura; identificazione dei principali aspetti ambientali
- Studio di LCA dettagliato, finalizzato a valutare l'impatto ambientale e a identificare gli aspetti più salienti
- Sviluppo di una banca dati settore-specifico, secondo il formato stabilito dalla EPLCA
- Sviluppo di linee guida settoriali per guidare l'applicazione della metodologia LCA all'interno del settore analizzato
- Sviluppo di software di LCA semplificati e di facile utilizzo, supportati da pacchetti formativi.

6. Conclusioni

La metodologia LCA oggi si presenta come una metodologia matura e il numero crescente delle sue applicazioni ne è una prova; tuttavia la sua implementazione non è avvenuta su larga scala come invece ci si aspettava, principalmente perché esistono ancora alcuni elementi che ne ostacolano una piena diffusione. Queste limitazioni hanno una duplice origine: da un alto la metodologia è ritenuta troppo complessa e non trova piena applicazione anche per gli ambiti per cui è stata sviluppata, ossia principalmente le analisi di sistemi micro, in cui le perturbazioni del mercato non hanno influenza, e in cui le dinamiche temporali non hanno luogo. Dall'altro lato la metodologia LCA mostra i suoi limiti quando è applicata a sistemi complessi in cui intervengono maggiori meccanismi.
CALCAS ha affrontato questo problema, ponendosi l'obiettivo di definire le linee di ricerca nel breve, medio e lungo periodo su come superare le attuali limitazioni della metodologia per renderla uno strumento più rispondente e robusto. Superare le limitazioni significa, di fatto, agire su quattro diversi livelli:

- migliorare l'attendibilità e usabilità della ISO-LCA
- approfondire gli attuali modelli (includere altri meccanismi)
- ampliare l'ambito di applicazione anche agli aspetti economici e sociali
- arricchire e revisionare i fondamenti scientifici della LCA, valutando combinazioni e/o integrazioni con altri strumenti e approcci per le valutazioni di sostenibilità.

[2] Con il termine "ibrido" si fa comunemente riferimento alla combinazione di due distinti approcci. Nel contesto della LCA e dell'analisi input output il termine sta ad indicare sia l'utilizzo di unità ibride (unità fisiche e monetarie all'interno della stessa matrice), sia l'utilizzo di dati ibridi (combinazione di dati process-level e di input output).

Il principale risultato del progetto è stato lo sviluppo di un framework per LCSA, una struttura logica unitaria all'interno della quale trovano spazio tutti i meccanismi rilevanti per la valutazione di sostenibilità, meccanismi che devono essere analizzati a diversi livelli di complessità. All'interno di questo framework tre principali linee di sviluppo sono state identificate, Product level LCSA (ISO-LCA), Sector level LCSA, Economy-wide LCSA. Relativamente alla prima, questa nota ha analizzato il contesto che ne ha portato alla definizione (analisi dei bisogni degli utilizzatori) e ne ha illustrato le principali caratteristiche, soffermandosi maggiormente sulla linea di ricerca relativa alla semplificazione.
Molti degli elementi del framework per LCSA devono essere ulteriormente elaborati e sviluppati: l'ultima parte del progetto CALCAS sarà, infatti, dedicata a identificare gli attuali gaps di conoscenza e a formulare linee di ricerca per colmarli. I risultati finali saranno presentati in un Blue Paper, che verrà discusso pubblicamente con tutta la comunità LCA per raggiungere il maggior consenso possibile sulle future linee di ricerca per la LCA.

Bibliografia

[1] *Integrated Product Policy – Building on Environmental Life Cycle Thinking*. COM (2003) final.

[2] Schepelmann P. et al, *Report on the SWOT analysis of LCA-supporting models and tools*. Deliverable (D10) of work package 3 (WP3) CALCAS project.

[3] Huppes G. and Ishikawa M.. *Eco-efficiency guiding micro-level actions towards sustainability: Ten basic steps for analysis.* Ecological Economics 68 (2009) 1687–1700

[4] Heijungs R., Huppes G.and Guinée J., *A scientific framework for LCA*. Deliverable D15 of the CALCAS project.

[5] Rydberg T. et al. *Results from survey of demand for life cycle approaches in sustainability decision support: user needs*. Deliverable D9 of work package 6 of the CALCAS project

[6] Zamagni A.; Buttol P.; Porta P.L.; Buonamici R.; Masoni P.; Guinée J.; Heijungs R.; Ekvall T.; Bersani R.; Bieńkowska A.; Pretato U. *Critical review of the current research needs and limitations related to ISO-LCA practice*. ENEA 2008, ISBN 88-8286-166-X

[7] Ciroth, A. et al. (2008) Environmental Life Cycle Costing. Edited by Hunkeler, D.; Lichtenvort, K.; Rebitzer, G. SETAC book

[8] Ekvall, T.; Andrae, A. (2006) Attributional and consequential environmental assessment of the shift to lead-free solders, International Journal of Life Cycle Assessment, 11 (5) 344-353

[9] Ekvall, T.; Weidema, B.P. (2004) System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. International Journal of Life Cycle Assessment, 9 (3) 161-171

[10] Weidema, B.P. (2003) Market information in life cycle assessment. Environmental Project no. 863, Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark. Url: http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2003/87-7972-991-6/pdf/87-7972-992-4.pdf.

[11] Weidema, B.P.; Frees, N.; Nielsen, A-M. (1998) Marginal production technologies for life cycle inventories, International Journal of Life Cycle Assessment 4 (1) 48-56

[12] Zamagni, A. *et al*., "eVerdEE: a web-based LCA tool for SMEs-Description and case study presentation". Proceedings of the 12th SETAC Europe LCA Case Studies Symposium, Bologna (Italy), 10-11 January 2005

APPROCCI ALL'INTEGRAZIONE DEI COSTI IN LCA:
LIFE CYCLE COSTING, ANALISI INPUT-OUTPUT

Bruno Notarnicola (b.notarnicola@dgm.uniba.it), Ettore Settanni, Giuseppe Tassielli

Università degli Studi di Bari

ABSTRACT

L'estensione della LCA nella direzione del Life Cycle Costing (LCC) prevede l'introduzione di considerazioni economiche complementari, riferite ai costi di produzione. Nonostante esistano diverse applicazioni congiunte dei due strumenti in letteratura, appare esclusa la possibilità di una loro effettiva integrazione nell'ambito dalla stessa struttura formale. Tuttavia, una più approfondita discussione degli aspetti algebrici dell'LCC potrebbe spiegare il limitato successo che esso riscuote presso gli operatori economici. Un risultato presumibilmente dovuto a problemi di implementazione dell'LCC, soprattutto in assenza di sistemi informativi aziendali complessi, tipicamente fuori dalla portata delle piccole e medie imprese, e alla scarsa visibilità dei risultati concretamente ottenibili mediante il suo impiego ai fini del controllo dei costi di produzione. In questa nota si traccerà un quadro sintetico degli approcci prevalenti all'LCC nella contabilità ambientale d'impresa. Si illustreranno, quindi, alcune problematiche di coerenza tra analisi dei costi e analisi ambientale e si discuterà di come queste possano essere affrontate definendo una procedura di calcolo per l'LCC coerente con quella dell'LCA – essenzialmente basata sull'analisi input-output.

1. Introduzione

L'"Environmental" Life Cycle Costing (LCC) ha assunto nell'arco di un decennio un ruolo preminente e ampiamente riconosciuto come strumento di sostenibilità, pur avendo origini assai più lontane e del tutto estranee alla gestione ambientale d'impresa. L'istituzione di un gruppo di lavoro dedicato al LCC in seno alla *Society of Enviornmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) conferma l'importanza di questo strumento tra quelli elaborati dalla contabilità ambientale d'impresa (EMA).

Tale gruppo di lavoro ha proficuamente discusso i principali aspetti metodologici e applicativi del LCC, approdando nel 2008 a un documento ufficiale che, come si legge nella prefazione, ha manifeste pretese di "precursore di un *code of practice*" [1]. Da un punto di vista istituzionale sembra, dunque, che il dibattito attorno a questo strumento sia definitivamente esaurito, come dimostra un sempre più diffuso impiego congiunto di LCA e LCC in letteratura.

Restano tuttavia ancora aperte alla discussione alcune problematiche di carattere metodologico. In particolare, vi è un *gap* tra l'interesse che il LCC riscuote presso gli esperti di LCA e la sua effettiva conoscenza e implementazione presso gli operatori economici. Un risultato presumibilmente dovuto all'ipotesi, sinora prevalente, che i dati necessari a un'analisi economica complementare a quella ambientale possano essere agevolmente reperiti dai sistemi informativi aziendali, che si presuppongono già in essere presso gli attori coinvolti. Inoltre, sembra esservi una scarsa visibilità dei risultati concretamente ottenibili mediante l'impiego di questo tipo di analisi ai fini del controllo dei costi di produzione nell'ambito della gestione aziendale.

In questa nota si traccerà dapprima un quadro sintetico degli approcci prevalenti all'LCC nella contabilità ambientale d'impresa. Si illustreranno quindi i principali problemi metodologici che sembrano sorgere nell'implementazione delle più diffuse accezioni di LCC presentate in letteratura.

A fronte di tali problematiche specifiche, si sosterrà la necessità di una più approfondita discussione degli aspetti algebrici del LCC. Si giungerà alla conclusione che un'eventuale struttura di calcolo dell'LCC basata sui principi dell'analisi input-output sarebbe coerente con quella dell'LCA, trasparente da un punto di vista procedurale, agevolmente implementabile mediante i comuni fogli di calcolo elettronici e condurrebbe a risultati chiaramente interpretabili da un punto di vista gestionale aziendale.

2. Principali approcci all'LCC

La portata del concetto di LCC, i suoi principali impieghi – sia nel tradizionale ambito della contabilità manageriale, sia in quello emergente dell'EMA – e i principali fattori che ne determinano l'utilizzo sono stati analizzati ampiamente [2,3]. La sua struttura di calcolo, per contro, è stata esclusa quasi integralmente dalla discussione. L'LCC ha infatti una consolidata tradizione come analisi dei flussi di cassa attualizzati, utilizzata nell'ambito dei processi di acquisizione di beni durevoli [4]. La caratteristica di questo tipo di LCC è quella di focalizzarsi soprattutto sui costi che l'acquirente sosterrà successivamente all'investimento iniziale.

Ciclo di vita	Fasi	Definizioni di LCC correlate
Prospettiva dell'acquirente	Acquisizione Utilizzo Manutenzione e supporto Smaltimento	Il Life Cycle Costing estende l'analisi costi ad un orizzonte temporale che va oltre il momento dell'acquisto, considerando non solo ciò che l'acquirente corrisponde per acquisire il prodotto ma anche tutti i costi che egli sosterrà nell'arco della vita utile dello stesso [4].
Prospettiva del produttore	Progettazione di prodotto Produzione Logistica e vendita Supporto e garanzia	I costi del ciclo di vita sono quelli che interesseranno il produttore nell'arco della vita utile del prodotto. Sono inclusi i costi diretti e indiretti, ricorrenti e non, sostenuti o solo stimati, che riguardano le fasi di progettazione, sviluppo, produzione, uso, manutenzione e supporto di un sistema a cui si uniscono i costi sostenuti dall'acquirente. In senso lato, si potrebbero includere anche i costi sociali [5-7].
Prospettiva di filiera	Acquisizione materie prime Produzione Distribuzione Smaltimento o Take-back	L'analisi e gestione dei costi in un'ottica di filiera (Supply Chain Costing) tende a integrare la dimensione di prodotto, e i relativi flussi di materia e di informazioni, quella delle relazioni tra partners e quella dei costi, considerati non solo all'interno delle organizzazioni ma tra organizzazioni diverse [8]. L'aspetto delle relazioni tra partners assume un ruolo cruciale nelle politiche d'acquisto e distingue l'approccio del Total cost of ownership (TCO) da quello del LCC [9].
Prospettiva di prodotto from-cradle-to-grave	[Ricerca e Sviluppo] Estrazione materie prime Produzione beni intermedi Produzione dei beni finali Distribuzione Uso e Servizio Take-back/ demanufacturing Smaltimento	Il LCC è l'identificazione e la valutazione di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto, processo o attività che interessano direttamente uno o più attori che operano nelle fasi di tale ciclo di vita, dalla fase di progettazione, attraverso l'estrazione delle materie prime fino allo smaltimento finale. Esso può includere le esternalità ambientali o almeno quelle che si prevede saranno internalizzate in un prossimo futuro [1,10].
Prospettiva di mercato	Introduzione Crescita Maturità Declino o rivitalizzazione	I costi e i proventi relativi ad un prodotto cambiano a seconda della fase del ciclo di vita – introduzione, crescita, maturità, declino – in cui esso si trova. Il concetto di ciclo di vita di una merce diviene dunque fondamentale nel processo di pianificazione dei costi [11]
Prospettiva della Società	Come la prospettiva di prodotto, ma considerando confini più ampi rispetto all'analisi economica	Comporta la valutazione di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto che sono sostenuti da chiunque nella società attualmente, o lo saranno nel lungo periodo. All'Environmental LCC si aggiungono i costi esterni. La prospettiva della società include la collettività a livello nazionale ed internazionale. Poiché anche i Governi sono coinvolti in questa prospettiva, l'effetto netto di tasse e sussidi o ai fini del calcolo dei costi è nullo [1, 12].

Tab. 1 – *Tipologie di ciclo di vita alla base del Life Cycle Costing*

Tuttavia, il concetto di LCC può cambiare a seconda di come s'intende il concetto di ciclo di vita ad esso sotteso [5]. Perciò, accanto alla sopra menzionata prospettiva dell'acquirente, se ne aggiungono altre (Tab. 1).
Nella Tab. 1 non sembra possibile identificare una specifica accezione ambientale di LCC. Sebbene l'LCC abbia conosciuto quasi una "rinascita" grazie al suo impiego in campo prettamente ambientale, la pratica prevalente è condurre l'LCC seguendo una delle tradizionali definizioni, combinandone successivamente gli esiti con quelli di un'LCA condotta separatamente [1, 13, 14]. Tra le varie definizioni riportate nella Tab.1 prevale nell'uso la prima. La prospettiva dell'utilizzatore si adotta tipicamente nella valutazione di beni durevoli di nuova realizzazione, ad es. centrali termoelettriche, impianti di trattamento dei rifiuti e delle acque reflue, autoveicoli e componentistica, infrastrutture, edifici ecc. Da questo punto di vista, il ciclo di vita è inteso come vita utile del bene e ha una connotazione esclusivamente temporale, diversa da quella "fisica" che caratterizza lo stesso concetto utilizzato in LCA. Questa diversa definizione di ciclo di vita comporta che nella pratica l'applicazione dell'LCA non sia limitata ai soli beni durevoli, a differenza dell'LCC. Quest'ultimo, infatti, anche se inteso come controparte economica dell'LCA, riguarda raramente beni non durevoli [15,16] e, in molti casi, oggetto di valutazione economica è l'investimento nell'impianto che produce il bene non durevole in questione.
L'LCC ambientale può essere visto alternativamente come un modo per incorporare i costi nell'LCA o per incorporare l'LCA nella determinazione dei costi. Nel primo caso, si parte dalle informazioni rilevate nella fase di inventario del ciclo di vita per associare ai flussi fisici i relativi costi [17, 18]. Gli esiti di questo tipo di LCC, tuttavia, dipendono largamente dalla possibilità di includere i diversi costi della gestione ambientale e di quantificarne il contributo al costo complessivo [19]. Nell'ambito di questi costi può assumere particolare importanza, peraltro, la quantificazione in termini monetari degli impatti dovuti ai carichi ambientali, sebbene la determinazione di questi elementi sia poco o tutt'altro che agevole.
Nel secondo caso, il legame con l'inventario del ciclo di vita è meno diretto. L'analisi ambientale può essere d'ausilio per derivare il costo pieno ambientale dei prodotti [20,21]. Più in generale, questo implica interpretare i risultati di un'LCA in termini di conseguenze economico-finanziarie a livello di singola impresa oppure, a prescindere da ogni riferimento specifico all'LCA, il concetto di LCC viene in ogni caso ampliato per quantificare le conseguenze economico-finanziarie future di decisioni attuali o passate rilevanti da un punto di vista ambientale nell'arco di tutto il ciclo di vita di un prodotto [22,23].
L'LCC che, similmente all'LCA, fa riferimento al ciclo di vita fisico del prodotto viene spesso identificato come "ambientale" e inteso come metodo equivalente all'analisi del ciclo di vita sul piano dei costi [24]. Già dagli inizi degli anni '90, con la codifica e la standardizzazione della metodologia LCA, l'assenza di informazioni complementari di carattere economico è stata avvertita come una limitazione rilevante ai fini dei processi decisionali aziendali [10]. La prospettiva di prodotto nell'LCC è senz'altro la più ampia, giacché include in una visione olistica tutte le attività a cui è sottoposto un prodotto o una componente dello stesso, *a prescindere da quali siano i decisori coinvolti*. Quest'ultimo aspetto sembra distinguere sostanzialmente tale prospettiva da quella di filiera – in cui le relazioni tra partners sono, invece, fondamentali [8,9]. Prospettiva di prodotto e di filiera, tuttavia, vengono spesso identificate, al massimo specificando che la seconda non include le fasi d'uso e fine vita.
Nonostante la molteplicità di approcci, è possibile derivare una delle definizioni più recenti, che pare esprimere la posizione prevalente nell'ambito delle comunità scientifica di esperti di LCA [1]: "L'LCC ambientale esprime una sintesi di tutti i costi associati al ciclo di vita di un prodotto che sono sostenuti direttamente da uno o più attori che operano nelle fasi di tale ciclo (fornitore, produttore, utilizzatore o consumatore e coloro che operano nella fase di fine vita) e include le esternalità che si può prevedere saranno internalizzate in un futuro rilevante ai fini decisionali. Non costituisce una metodologia a sé stante, bensì è necessario che sia sempre associata ad una complementare valutazione del ciclo di vita (LCA). LCA ed LCC devono essere condotti entro confini del sistema equivalenti e devono avere come oggetto la stessa unità funzionale.
Per le sue caratteristiche, l'LCC si configura come il metodo più appropriato per stabilire uno dei tre pilastri della sostenibilità, quello economico, nella valutazione dei prodotti".

L'LCC ambientale deve dunque fondarsi su un'analisi sistematica che sia complementare alla corrispondente valutazione ambientale e, soprattutto, coerente con essa. Come questo possa tradursi concretamente a livello di implementazione e con quali conseguenze è tuttora oggetto di dibattito.

2. Problematiche degli approcci prevalenti

L'opportunità di disporre di un inventario di costi, parallelo e complementare alla quantificazione dei carichi sull'ambiente, è strettamente subordinata alla capacità degli strumenti interessati – nello specifico LCA e LCC – di fornire risposte alle specifiche necessità dei decisori, per individuare la fattibilità concreta di un'opzione produttiva sulla base di un insieme di misure, economiche ed ambientali, più completo [25]. Ricorrendo in modo congiunto a LCC e LCA l'obiettivo è generalmente quello di affiancare ad una stima dell'impatto ambientale ottenuta da una LCA, un costo di produzione, rapportato all'unità funzionale, che includa la fase d'uso e lo smaltimento finale del sistema-prodotto. Tuttavia, gli esperti di LCA si sono limitati a prendere in prestito la terminologia comunemente impiegata nell'LCC tradizionale, senza preoccuparsi troppo delle metodologie sviluppate in tale ambito [26].
Nella misura in cui strumenti di natura diversa (economica ed ambientale) vengono sviluppati in autonomia salvo poi essere ricongiunti in una c.d. "*portfolio analysis*", il rischio che, probabilmente, si corre associandone gli esiti è quello di delegare al caso o a componenti di difficile quantificazione la convergenza tra tali strumenti invece di identificare delle "determinanti" comuni su cui si possa effettivamente operare un controllo.
Questo aspetto è tanto più importante quanto più si adotta la prospettiva del produttore o della filiera. L'approfondimento degli aspetti connessi alla contabilità industriale, tuttavia, non è usualmente parte integrante del LCC. Quest'ultimo, invece, tende a conservare la propria natura di analisi dei flussi di cassa attualizzati a prescindere dalla prospettiva adottata e, di conseguenza:

- consente solo di valutare ipotesi di investimento in beni durevoli o in impianti che producono beni non durevoli;
- il costo di acquisizione di un bene durevole sintetizza tutti i cicli produttivi che hanno luogo a monte della fase d'uso dello stesso.

È evidente, tuttavia, che l'analisi potrebbe riguardare beni non durevoli e sistemi produttivi già in essere, come accade per l'LCA. In tali circostanze, la sequenza di fasi di lavorazione interrelate che precede la fase d'uso non dovrebbe essere vista in modo aggregato. Infatti, per l'impresa manifatturiera è cruciale, da un lato, individuare le ripercussioni che alternative progettuali possono avere sulla configurazione e sulle condizioni operative – attuali e prospettiche – del proprio ciclo produttivo; dall'altro, valutare in che modo questo si riflette sul costo della fase di produzione e su quello delle molteplici attività, variamente aggregate, che possono avere luogo nelle diverse fasi del ciclo di vita del prodotto considerato, nonché su eventuali costi associati agli aspetti ambientali che caratterizzano tali fasi.
Tipicamente, l'LCC ambientale non tiene conto di questo tipo di esigenze informative, concentrandosi quasi esclusivamente sui costi di connotazione ambientale. Tuttavia, le più recenti tendenze in ambito EMA sottolineano la necessità di passare dalla determinazione dei costi della protezione ambientale al calcolare il costo dei flussi di materia ed energia che sono responsabili degli impatti ambientali. Questo consentirebbe di tenere in considerazione tecnologie integrate più pulite ed efficienti e non solo le misure addizionali di abbattimento *end-of-pipe* [27].
Occorre, dunque, che il LCC sia in grado di:

- evidenziare le opportunità legate ai miglioramenti ambientali, piuttosto che enfatizzare il carattere di costo aggiuntivo che è proprio delle misure *end-of-pipe*;
- evidenziare relazioni causali economicamente plausibili nell'assegnazione dei costi di carattere ambientale ai diversi oggetti di costo aziendali.

Un concetto di LCC basato sui flussi di cassa non consente, evidentemente, di superare la visione della fase di produzione come "*black box*", né di determinare in modo preciso il fabbisogno di risorse da parte dei processi e dei prodotti. È possibile tuttavia individuare una diversa accezione di LCC come strumento *ingegneristico e manageriale* di analisi dei costi, orientato ai processi, che

ne individua le cause sia all'interno che all'esterno della singola organizzazione [5]. In quest'ottica è evidentemente necessario esplicitare i meccanismi di attribuzione dei costi utilizzati nell'LCC [5,7,28]. Non sempre, tuttavia, le caratteristiche operative del ciclo produttivo sono adeguatamente prese in considerazione ai fini dell'analisi in un'ottica di pianificazione integrata della produzione e dei costi. Le analisi dei costi, infatti, sono spesso di tipo *top-down*, cioè la loro attribuzione agli oggetti di costo procede sulla base delle metodologie tipicamente utilizzate nella contabilità dei costi (ABC ecc.) a partire dalle grandezze complessivamente rilevate a consuntivo dalla contabilità generale. Di conseguenza, non è raro che negli studi di LCC ci si limiti a richiamare tali metodologie o, più in generale, le modalità di reperimento delle informazioni necessarie, senza esplicitare i criteri con cui sono state condotte le elaborazioni nonché, per ragioni di riservatezza e sensibilità riguardo i costi industriali, a utilizzare i prezzi di mercato come approssimazione dei costi [1,15,29, 30, 31].

3. Necessità di una struttura di calcolo dell'LCC

Da quanto discusso sinora sembra evidente che, in ultima analisi, fare riferimento all'LCC come controparte economica dell'LCA implica assai di rado che vengano approfondite, e tantomeno poste in discussione, le modalità con cui si procede ad assegnare i costi, soprattutto quelli della gestione ambientale ai diversi oggetti di costo – processi e prodotti. Tuttavia, nella misura in cui l'ottica che si adotta nell'analisi è quella del produttore e/o quella della filiera/catena del valore, allora l'obiettivo dell'LCC dev'essere quello di contenere i costi controllandone le determinanti, soprattutto quelle legate al ciclo produttivo, e stabilendo le opportune relazioni con i propri partner a monte e a valle. Diversamente, se si conduce l'analisi in una prospettiva "terza", allora l'enfasi viene posta soprattutto sulla possibilità di raccolta delle informazioni sui costi. Infatti, dando per acquisite le modalità di calcolo dei costi, una adeguata profondità dell'analisi può essere agevolmente raggiunta disponendo di informazioni di costo *site-independent*. Si può prescindere, cioè, dalla effettiva controllabilità dei parametri sottesi alla determinazione dei costi da parte dei soggetti effettivamente interessati. D'altra parte, l'utilizzo di stime piuttosto grossolane dei costi è stato giustificato dalla natura comparativa del LCC [32], a cui si aggiunge il diffuso abbinamento tra LCC nell'ottica dell'utilizzatore (volto alla valutazione di un investimento sulla base dei flussi di cassa attualizzati) e LCA (che per contro è uno strumento statico e basato su un concetto di ciclo di vita "fisico", che riflette la composizione della filiera di un prodotto).
In contrasto con quest'ottica è possibile, approfondendo e formalizzando la struttura di calcolo su cui si basa l'LCC, comprenderne più a fondo i risvolti operativi, le potenzialità e gli eventuali limiti, soprattutto alla luce dell'auspicata combinazione con altri strumenti olistici quali LCA e Supply Chain Management (SCM). Ciò che si sostiene è che a prescindere dal verificarsi di una o più delle limitazioni precedentemente discusse, ci si aspetterebbe che l' LCC ambientale sia in ogni caso in grado di fornire qualche indicazione in più ai fini dell'analisi sia sui costi che sul sistema produttivo. Ad esempio, dovrebbe essere possibile implementare l'LCC anche se l'oggetto di analisi è un bene non durevole, non vi sono possibilità di approfondire ulteriormente la struttura di costo degli operatori a monte e non è possibile disporre di un sistema contabile particolarmente evoluto. Perché questo sia possibile, occorre delinearne la struttura di calcolo.
Da un punto di vista metodologico, peraltro, nel definire i requisiti di coerenza tra LCA e LCC, non si fa alcun esplicito riferimento alla struttura di calcolo delle due metodologie [1]. La loro implementazione parallela sembrerebbe escludere, infatti, qualsiasi possibilità di integrazione formale tra i due strumenti [33]. Non vi è, dunque, uno standard che consente di combinare LCC e LCA in modo del tutto coerente, riflettendo l'intero ciclo di vita fisico del prodotto.

4. Applicazione dell'analisi Input-Output

In questa sede si ritiene che l'Analisi Input-Output (IOA) possa essere applicata con successo a strumenti come l'LCC. Essa consente di formalizzare le relazioni che sono alla base di unità produttive legate reciprocamente tra loro. Inoltre, le estensioni ambientali sviluppate nell'ambito dell'IOA [34] forniscono criteri analitici trasparenti utilmente impiegabili per affrontare il problema dell'assegnazione dei costi ambientali end-of-pipe ai processi e, successivamente, ai pro-

dotti nell'ambito del un sistema produttivo considerato. Sebbene si tratti di una metodologia originariamente sviluppata nell'ambito macroeconomico, le proprietà dell'IOA ne hanno consentito l'impiego per modellizzare degli elementi strutturali dei processi produttivi , in particolare: nella risoluzione dei problemi di contabilità industriale e pianificazione della produzione [35,36], nella gestione dei flussi fisici in un'ottica di filiera [37] e infine nella gestione degli aspetti di calcolo legati a strumenti analitici quali l'LCA [38]. Questo rende tale metodologia un interessante denominatore comune su cui basare l'indagine riguardo i concreti limiti e le opportunità per l'integrazione tra strumenti differenti che hanno in comune l'orientamento ai processi aziendali.
I principi dell'IOA macroeconomica richiedono, tuttavia, opportuni adattamenti per essere applicati alle problematiche riguardanti specifici cicli produttivi [39]. Inoltre, poche applicazioni considerano esplicitamente le estensioni ambientali dell'IOA a livello microeconomico [40]
In generale, una struttura di calcolo basata sull'IOA può fungere da presupposto di base per operare eventuali integrazioni tra metodi di pianificazione della produzione e di contabilità dei costi che si focalizzano sui processi che hanno luogo in ambito aziendale [41]. Questo modo di procedere è particolarmente utile in situazioni in cui un sistema produttivo si compone di processi interrelati, ciascuno dei quali richiede come input gli output degli altri.
Fondamentalmente, le informazioni relative ai processi coinvolti (a cui si aggiungono, eventualmente, le fasi d'uso e fine vita) siano opportunamente organizzate nella forma di matrici. In tal modo, è possibile applicare un procedimento di calcolo basato sull'algebra lineare, coerente, dal punto di vista teorico, con quello utilizzato nell'analisi del ciclo di vita. Tale procedimento è stato descritto dettagliatamente in altra sede [42,43] e verrà qui solo richiamato brevemente.
Il ciclo produttivo viene dapprima rappresentato come un network di processi. La scelta dei processi produttivi tra loro collegati da relazioni fornitore/cliente determina la sequenza di operazioni svolte dal sistema economico-produttivo analizzato e ne definisce i confini. Il livello di dettaglio con cui i processi sono rappresentati dipende dalla portata dell'analisi. Una volta definito il sistema, la produzione netta dello stesso può essere descritta utilizzando sistemi di equazioni lineari che possono essere espressi con una notazione matriciale compatta, analogamente a quanto accade per l'LCA. Utilizzando opportunamente le matrici si costruisce l' inventario dei flussi fisici che legano unità specifiche – si tratti di organizzazioni distinte o di processi nell'ambito della stessa organizzazione. Per far questo, occorre adoperare alcune operazioni basilari di algebra lineare. In primo luogo occorre calcolare i livelli di attività di ogni processo che compone il sistema, necessari affinché la produzione netta dello stesso soddisfi un piano di produzione definito esogenamente per un certo periodo di tempo. Attraverso una prima procedura di bilanciamento si ottiene un quadro quantitativo delle risorse che saranno richieste e prodotte all'interno del sistema a fronte di tale piano, quantificando distintamente rifiuti, sottoprodotti e in generale le inefficienze di processo. Scarti e sottoprodotti possono in parte richiedere dei servizi trattamento, siano essi forniti internamente o acquistati esternamente, e in parte essere reintrodotti nel ciclo produttivo. Una seconda procedura di bilanciamento quantifica il fabbisogno di servizi trattamento dei rifiuti e sottoprodotti, tenendo conto della quota recuperata. Tali servizi sono operati da processi interni dedicati, e generano a loro volta sottoprodotti che possono essere riutilizzati nel ciclo produttivo oppure smaltiti esternamente. Completate le procedure di bilanciamento, è possibile procedere alla determinazione dei costi diretti di ogni processo e dei costi totali unitari dei prodotti intermedi e finali.
I costi diretti di processo si determinano sulla base sulle relazioni fisiche così determinate, noti i coefficienti di costo degli input acquisiti esternamente al sistema e di altri parametri operativi variabili, come ad esempio le ore-macchina, oppure fissi rispetto ai livelli di attività dei processi.
Quindi, impostando un opportuno sistema di equazioni lineari, è possibile determinare i costi di produzione a cui valorizzare le transazioni che hanno luogo tra processi interdipendenti e tra questi e il mercato.
Un concetto di LCC ambientale basato sulla struttura di calcolo descritta sarebbe intimamente legato alle effettive modalità di conduzione delle tecnologie produttive in essere, rispettando, per quanto possibile, le strutture formali di analisi dei cicli produttivi.

L'ipotesi di base è che il ruolo dei flussi fisici non sia limitato all'attribuzione dei costi ambientali, ma più in generale occorre tener conto della dotazione tecnologica in essere e delle condizioni di operative della stessa nella determinazione della redditività della gamma di prodotti. Solo in tal modo diviene possibile analizzare un determinato aspetto del ciclo produttivo sia nelle sue ripercussioni in termini fisici, sia per quanto attiene i costi industriali. Come corollario, si dovrebbe dare importanza nell'analisi alle inefficienze di processo, come la produzione e smaltimento degli scarti e le rilavorazioni. Questi ultimi aspetti sono rilevanti al fine di un utilizzo più efficiente delle risorse in ambito aziendale, a cui si associano evidenti possibilità di contenimento dei costi industriali.
Sinora, tuttavia, i risultati più importanti nella direzione di una integrazione tra IOA, LCC e analisi ambientale di tipo LCA sono stati conseguiti esclusivamente nell'ambito dei modelli "ibridi", che impiegano gli strumenti di contabilità nazionale per definire il *background* dell'analisi [34].

5. Conclusioni

Lo scopo di questa nota è stato quello tracciare dapprima un quadro sintetico degli approcci prevalenti all'LCC nella contabilità ambientale d'impresa per poi illustrare i principali problemi metodologici che sembrano sorgere nell'implementazione delle più diffuse accezioni di LCC presentate in letteratura. Si è sostenuto che per affrontare questi problemi è necessaria una più approfondita discussione degli aspetti algebrici dell'LCC. In particolare, un'eventuale struttura di calcolo dell'LCC basata sui principi dell'analisi input-output garantirebbe una adeguata coerenza – sebbene non la completa sovrapponibilità – dell'LCC con l'LCA.
Di particolare importanza è la prospettiva adottata nel condurre un'analisi di tipo LCC. In particolare, il ciclo di vita di un prodotto, inteso come sequenza di operazioni variamente configura te, non dev'essere inteso come un'entità al di fuori del controllo dei singoli attori che vi prendono parte. Riconoscere esplicitamente le effettive relazioni che intercorrono tra attori diversi ai fini della determinazione dei costi implica l'adozione di un'ottica di filiera. In tale ottica, l'analisi si sviluppa inizialmente entro i confini della *focal company*. Successivamente, a seguito delle pressioni nel senso di una riduzione dei costi e possibilmente degli impatti ambientali trasmesse dalla *focal company* agli altri stadi della *supply chain*, l'analisi può essere estesa includendo le parti coinvolte. A tal fine occorre riconoscere e sfruttare i legami interni ed esterni lungo la catena del valore.
È evidente che indagando la struttura di calcolo dell'LCC, si darebbe maggiore visibilità dei risultati concretamente ottenibili mediante il suo impiego ai fini del controllo dei costi di produzione. In particolare, si otterrebbero dei risultati che consentono di capire in modo trasparente cosa accadrebbe in termini di costi e di bilancio materiale a seguito di una modifica nel ciclo produttivo che interessa uno o più parametri reputati critici a seguito di una LCA. Il ruolo che, quindi, appare plausibile per l'LCC inteso in senso "ambientale" è quello di fornire, nella consapevolezza delle criticità ambientali individuate mediante lo strumento complementare LCA a ciò preposto, una visibilità delle determinanti di costo legate al ciclo produttivo effettivamente controllabili, a livello di singola impresa e di filiera, con inclusione della fase d'uso e di fine vita del sistema prodotto, coerentemente con i rapporti di cooperazione vigenti o prospettici tra gli attori che operano lungo la filiera stessa.

Bibliografia

[1] Hunkeler D, Lichtenvort K, Rebitzer G (2008) Environmental life cycle costing. SETAC-CRC, Pensacola

[2] Lindholm A, Suomala P (2005): Present and future of Life Cycle Costing: reflections from Finnish companies. The Finnish Journal of Business Economics, n.2/05, pp.282-292.

[3] Dunk AS (2004): Product life cycle cost analysis: the impact of customer profiling, competitive advantage, and quality of IS information. Management Accounting Research, 15(4), pp.401-414.

[4] Dhillon BS (1989): Life Cycle Costing. Techiniques, models and applications. New York, Gordon and Breach Science Publishers.

[5] Emblemsvåg J (2003): Life cycle costing. Using activity based costing and Monte Carlo methods to manage future costs and risks. Wiley, Hoboken

[6] Artto KA (1994): Life cycle cost concept and methodologies. Journal of Cost Management, 8(3), pp.28–32

[7] Fabrycky WJ, Blanchard BS (1991) Life cycle costing and economic analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs

[8] Seuring S (2002): Supply chain costing—a conceptual framework. In: Seuring S, Golbach M (eds) Cost management in supply chains. Physica, Heidelberg, pp 15–30

[9] Ellram LM (1995): Total cost of ownership. An analysis approach for purchasing. International Journal of Physical Distribution and Logistics, 25(8), pp.4-23.

[10] Weitz, KA, Smith JK, Warren JL (1994): Developing a Decision Support Tool for Life Cycle Cost Assessment. Total Quality Environmental Management, 4(1),pp. 23-36.

[11] Czyzewski AB, Hull RP (1991): Improving profitability with Life Cycle Costing. Journal of Cost Management, 5(2), pp.20-27.

[12] Shield MD, Young MS (1991): Managing product life cycle costs—an organizational model. Journal of Cost Management, 5(3), pp.39–52

[13] Kicherer A, Schaltegger S, Tschochohei H, Ferreira Pozo B (2007): Eco-efficiency. Combining life cycle assessment and life cycle costs via normalization. Int Journal of Life Cycle Assessment, 12(7), pp.537–543

[14] Huppes G, Ishikawa M (2005): A framework for quantified ecoefficiency. Journal of Industrial Ecology, 9(4), pp.25–41

[15] Krozer Y (2008): Life cycle costing for innovations in product chains. Journal of Cleaner Production, 16(3), pp. 310-321.

[16] Notarnicola B, Tassielli G, Nicoletti GM (2004): Environmental and economic analysis of the orgnanic and conventional extra-virgin olive oil. New Medit, 3(2), pp.28-34.

[17] Rebitzer G (2002): Integrating Life Cycle Costing and Life Cycle Assessment for Managing Costs and Environmental Impacts in Supply Chains. In Seuring S, Goldbach M (a cura di): Cost Management in Supply Chains. Heidelberg, Physica-Verlag pp.127-142.

[18] Shapiro KG (2001): Incorporating Costs in LCA. International Journal of Life Cycle Assessment, 6(2), pp.121-123.

[19] Steen B, (2007): Environemntal costs and benefits in life cycle costing. Management of Environmental Quality Journal, 16(2), pp.107-118.

[20] Schaltegger S, Burritt R (2000): Contemporary Environmental Accounting. Issues and Concepts. Sheffield, Greenleaf Publishing.

[21] Epstein MJ (1996): Improving environmental management with full environmental cost accounting. Environmental Quality Management, 6(1), pp.11-22.

[22] Epstein MJ, Wisner PS (2002): Measuring and managing social and environmental impact. In Shank JK (a cura di): Handbook of cost management. New York, RIA/WG&L.

[23] Kreuze JG, Newell GE (1994): ABC and Life-Cycle Costing for Environmental Expenditures. Management Accounting, 75(8), pp.38-42.

[24] Klöpffer W (2003): Life- Cycle Methods for Sustainable Product Development. International Journal of Life Cycle Assessment, 8(3), pp. 157-159.

[25] Fava JA, Smith JK (1998): Integrating financial and environmental information for better decision making. Journal of Industrial Ecology, 2(1), pp.9-11.

[26] Huppes G, van Rooijen M, Kleijn R, Heijungs R, de Koning A, van Oers L (2004) Life cycle costing and the environment. Report of a Project Commissioned by The Ministry of VROM-DGM Leiden, CML

[27] Schaltegger S,Wagner M (2005): Current trends in environmental cost accounting – and its interaction with eco-efficiency performance measurement and indicators. In Rickhardsson PM, Bennett M, Bouma JJ, Schaltegger S (a cura di): Implementing Environmental Management Accounting: status and Challenges. Dordrecht, Springer, pp.45-62.

[28] Dimache A, Dimache L, Zoldi E, Roche T, (2007): Life cycle cost estimation tool for decision-making in the early phases of the design process. In Takata S, Umeda Y (a cura di): Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Business. London, Springer, pp.455-459.

[29] Bovea MD, Vidal R (2004): Increasing product value by integrating environmental impact, costs and customer valuation. Resources Conservation and Recycling, 41(2), 133-145.

[30] Ellram LM, Fetzinger E (1997): Using total profit analysis to model supply chain decisions Journal of Cost Management, 11(4),pp.12-21.

[31] Koleian GA, Kar K (2003): Elucidating complex design and management tradeoffs through life cycle desig: air intake manifold demonstration project. Journal of Cleaner Production, 11(1), pp.61-77.

[32] Rebitzer G, Hunkeler D, Jolliet O (2003): LCC as the economic pillar of sustainability. Environ Prog, 11(4), pp.241–249

[33] Udo de Haes HA, Heijungs R, Suh S, Huppes G (2004): Three strategies to overcome the limitations of life-cycle assessment. Journal of Industrial Ecology, 8(3), pp.19–29

[34] Nakamura S, Kondo Y (2009): Waste Input-Output Analysis. Springer.

[35] Livingstone (1970): Management Planning and Control: Mathematical Methods. McGraw-Hill, New York

[36] Grubbström RW, Tang O (2000): An Overview of Input±-Output Analysis Applied to Production-Inventory Systems. Economic Systems Research, 12(1), pp.3-25.

[37] Albino V, Izzo C, Kühtz S (2002): Input-output models for the analysis of a local/global supply chain. International Journal of Production Economics, 78(2), pp.119-131.

[38] Heijungs R, Suh S (2002): The computational structure of LCA. Dordrecht, Kluwer.

[39] Gambling TE, Nour A (1970): A note on Input-Output Analysis: Its Uses in Macro-Economics and Micro Economics. The Accounting Review, 45(1), pp.98-102.

[40] Polenske KR, McMichael FC (2002): A Chinese cokemaking process-flow model for energy and environmental analyses. Energy Policy, 30(10), pp.865-883.

[41] Boons ANAM (1998): Product costing for complex manufacturing systems. International Journal of Production Economics, 55(3), pp.241-255.

[42] Settanni E., Tassielli G., Notarnicola B., Integrare contabilità dei costi e dei flussi fisici. Parte I: la pianificazione delle risorse. Sistemi & Impresa, n.8, 2008, pp.56-67.

[43] Settanni E., Tassielli G., Notarnicola B. (2008): Integrare contabilità dei costi e dei flussi fisici. Parte II: determinazione dei costi industriali. Sistemi & Impresa, n.9, 2008, pp.31-38.

LE PROCEDURE DI ALLOCAZIONE NELL'INVENTARIO: STATO DELL'ARTE E NUOVI APPROCCI RISOLUTIVI

Maurizio Cellura (mcellura@dream.unipa.it), Antonino Marvuglia, Sonia Longo

Università degli Studi di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali

ABSTRACT

In presenza di processi produttivi multi-funzionali, allorquando un singolo processo produce più di un prodotto, nella redazione dell'inventario ci si trova a dover affrontare il problema di una suddivisione razionale dei flussi economici e degli impatti ambientali del processo in questione fra i suoi molteplici output. In tali casi, come è noto, si ricorre all'allocazione.

Dal punto di vista matematico, la formulazione del problema con il metodo matriciale si traduce nella risoluzione di un sistema caratterizzato da una matrice dei coefficienti rettangolare. Gli approcci tradizionalmente utilizzati per affrontare il problema dell'allocazione (allo scopo di trasformare la matrice dei coefficienti in una matrice quadrata) introducono numerosi elementi di incertezza e soggettività nella soluzione.

Nel lavoro, dopo una breve descrizione degli approcci all'allocazione contenuti nella norma ISO14044, si affronta un caso studio esemplificativo di un processo multi-funzionale attraverso un nuovo approccio risolutivo, basato sull'impiego degli algoritmi di regressione noti in algebra matriciale con il nome di Total Least Squares (TLS) e Data Least Squares (DLS). Essi consentono di risolvere il sistema direttamente in forma rettangolare, limitando le scelte soggettive da parte dell'analista. La soluzione ottenuta con tali algoritmi viene poi confrontata con una soluzione basata sull'impiego dei metodi tradizionali (allocazione e sostituzione).

1. Introduzione

La struttura matematica della Life Cycle Impact Assessment (LCIA), pur essendo di importanza nevralgica per una piena comprensione della validità e dell'affidabilità dei risultati ottenuti nella fase di analisi di inventario, viene raramente approfondita nelle pubblicazioni scientifiche del settore. Ciò è probabilmente dovuto all'approccio pratico adottato dai tecnici che si occupano di LCA, i quali generalmente dedicano maggiore attenzione ai problemi connessi al reperimento dei dati ed alla presentazione dei risultati, piuttosto che all'analisi dei modelli matematici utilizzati per il trattamento dei dati stessi. Per quanto riguarda gli aspetti computazionali, i tecnici si limitano spesso a confidare nei risultati dei software commerciali da essi utilizzati.

Il metodo matriciale (MM), comunemente utilizzato nella fase di Life Cycle Inventory (LCI), determina il vettore di inventario o eco-profilo di uno specifico processo mono o multifunzionale risolvendo il sistema di equazioni lineari $\mathbf{A} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{f}$, in cui la matrice **A** (detta matrice economica o matrice tecnologica) contiene informazioni sull'uso e la produzione di entità economiche; il vettore **f**, detto unità funzionale economica, descrive l'insieme degli output di tutti i flussi economici del sistema complessivo studiato ed i suoi elementi vengono fissati dall'analista LCA; il vettore soluzione **s** è anche detto vettore di scala [1]. Esempi di entità economiche sono materiali, prodotti, servizi ed energia. Esse sono quindi distinte dalle entità ambientali, che sono estratte dall'ambiente o in esso rilasciate, senza che vi siano ulteriori processi responsabili [2].

Individuato il vettore di scala è possibile calcolare il vettore di inventario **g** (cioè il vettore dei flussi ambientali associati con il processo di riferimento investigato) come $\mathbf{g} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{s}$, dove **B** (che è chiamata matrice ambientale) rappresenta i flussi ambientali di tutti i processi e sottoprocessi unitari che costituiscono la matrice di inventario del sistema complessivo investigato.

La condizione di base per la soluzione del sistema anzidetto è che la matrice **A** sia quadrata ed invertibile, in modo tale che il problema abbia come soluzione un unico vettore di scala **s**.

Tuttavia, quando $\mathbf{A} \in \Re^{m \times n}$, con *m*>*n*, il sistema risulta essere sovradeterminato ed in generale non può essere trovata una soluzione esatta. Il caso di una matrice economica rettangolare è molto comune nell'LCA. Ciò accade ad esempio nei seguenti casi:

- cut-off di alcuni flussi economici;
- processi multi-funzionali (per esempio co-generazione o tri-generazione);
- riciclaggio a circuito aperto.

In questi casi vengono utilizzati alcuni artifici matematici per trasformare la matrice economica rettangolare in una matrice quadrata ed invertibile [1], meglio descritti nel seguito.
I processi multi-funzionali sono molto comuni nella pratica. Il problema della multifunzionalità, quando esplicitamente affrontato dagli autori, viene generalmente trattato attraverso due approcci differenti: il metodo di sostituzione (definito anche metodo degli impatti evitati o metodo di sottrazione) ed il metodo di partizione (definito anche metodo di allocazione).
Il metodo di sostituzione richiede che venga specificato un processo stand-alone per tener conto di un flusso economico evitato. Si consideri ad esempio un processo di co-generazione, cioè un processo che produce sia energia elettrica che energia termica. L'energia termica da esso resa disponibile causa una riduzione della quantità di energia termica generata da un processo stand-alone di generazione di sola energia termica, per un ammontare pari alla stessa quantità di energia termica del processo di co-generazione. Di conseguenza, la co-produzione di energia termica implica che alla matrice economica debba essere aggiunta una colonna relativa al processo di generazione stand-alone di energia termica.
Nel metodo di partizione, un processo multifunzionale viene suddiviso in un certo numero di processi monofunzionali (tanti quanti sono i prodotti del processo stesso, a meno che alcuni dei sotto-prodotti non necessitino dell'introduzione nella matrice economica di processi a loro volta multifunzionali). Tuttavia, questa operazione richiede la scelta di un insieme di fattori di allocazione che permettano la suddivisione dei flussi economici ed ambientali relativi al processo multifunzionale fra i singoli processi monofunzionali componenti. La scelta dei fattori di allocazione è sempre abbastanza complessa e fortemente soggettiva, e ciò introduce ulteriori elementi di incertezza nella soluzione del problema.
È interessante notare che in alcuni casi il sistema rettangolare $\mathbf{A} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{f}$ può essere risolto calcolando la pseudo-inversa della matrice economica [3], ma spesso la soluzione trovata con questo metodo non è accettabile in quanto affetta da uno scostamento notevole fra il vettore unità funzionale ottenuto e quello imposto. In tali casi occorre comunque far ricorso alle procedure di allocazione, a meno che non vengano utilizzate altre tecniche matematiche per cercare di risolvere il sistema direttamente in forma rettangolare.
In questo articolo verranno inizialmente descritte le principali problematiche collegate all'impiego delle procedure di allocazione e successivamente verrà introdotto un nuovo approccio risolutivo alternativo all'impiego sia del metodo della pseudo-inversa che ai metodi di allocazione. Tale approccio verrà applicato ad un caso studio dimostrativo già affrontato in [1] e risolto per altra via.
Il nuovo approccio presentato in questo lavoro è basato su una generalizzazione della ben nota tecnica di regressione dei minimi quadrati ordinari (Ordinary Least Squares – OLS). Il vantaggio principale dell'impiego di tale tecnica consiste nella possibilità di ridimensionare le scelte soggettive legate all'allocazione rendendo la soluzione ottenuta meno aleatoria.
Nell'ultima parte dell'articolo vengono confrontati i risultati ottenuti con i due approcci differenti e tracciate le conclusioni sull'applicazione della presente metodologia ai problemi di inventario nell'LCA.

2. L'allocazione

Il problema dell'allocazione è una delle problematiche metodologiche ancora oggi più dibattute nella redazione dell'inventario[4;5]. La norma di riferimento per l'allocazione è la ISO 14044 [6]. La prima raccomandazione contenuta nella norma è quella di evitare l'allocazione "quando possibile", attraverso una delle due opzioni seguenti: dividere i processi multifunzionali in due o più sotto-processi monofunzionali, oppure espandere il sistema studiato per includere i processi aggiuntivi che generano i co-prodotti.

Una seconda opzione prevista dalla norma ISO consiste nel separare gli input e gli output sulla base delle relazioni fisiche esistenti fra essi, descrivendo le relazioni causali che sussistono fra co-prodotti le cui quantità possono essere fatte variare indipendentemente (cioè nelle situazioni di produzione combinata).
La terza opzione prevista dalla norma ISO consiste nella partizione dei flussi economici ed ambientali fra i prodotti in un modo che rifletta altre relazioni esistenti fra essi. Per esempio, i flussi di input e di output potrebbero essere allocati fra i co-prodotti in proporzione al valore economico di questi ultimi. Tuttavia occorre tener presente che i prezzi di mercato possono essere soggetti a fluttuazioni significative nel tempo, rendendo così opinabile la validità e la credibilità dei risultati dello studio di LCA. In [7] è mostrata una interessante rassegna delle soluzioni che potrebbero essere adottate per determinare i prezzi dei prodotti nel caso di fluttuazioni economiche: nel caso in specie gli autori hanno individuato un albero decisionale per l'allocazione economica.
Al di là del metodo utilizzato per affrontare il problema, l'allocazione costituisce un passaggio cruciale nella fase di inventario, e le scelte compiute in questa fase sono in grado di influenzare profondamente i risultati ottenuti e conseguentemente la comparabilità fra diverse alternative di prodotto surrogabili, laddove la comparazione sia basata sul confronto dei loro eco-profili. Ne discende che, qualora l'eco-profilo di un prodotto (bene o servizio) sia determinato senza ricorrere all'allocazione, l'incertezza dovuta a scelte soggettive diminuisce, contribuendo così ad aumentare l'affidabilità dei risultati conseguiti.
È utile ricordare che l'algoritmo proposto in questo lavoro non è l'unica via per evitare il ricorso alle procedure di allocazione. Si consideri ad esempio un caso di riciclaggio a circuito chiuso all'interno di un sistema, quale il trattamento e riutilizzo di un rifiuto all'interno di un processo monofunzionale. In accordo alla norma ISO, poiché un tale sistema produce un solo prodotto, non vi è alcuna ragione per procedere all'allocazione. Tuttavia, se si procede alla creazione della matrice di inventario, essa avrà un numero di righe maggiore del numero di colonne. Per situazioni del genere può tornare molto utile l'impiego del concetto di pseudoinversa di una matrice [1;3;8]. Esso si basa su una generalizzazione del concetto di inversa semplice di una matrice quadrata ed invertibile **A**.
Come è noto dall'algebra lineare, una matrice quadrata ed invertibile **A** è legata alla sua inversa **Y** dalla relazione **YA=I**, dove **I** è la matrice identità. Una semplice conseguenza di questa relazione è che **AYA=A**. Tale relazione però non vale soltanto per la matrice inversa. Infatti, una matrice **Y** che rispetti tale relazione può essere trovata anche per matrici **A** non quadrate e quindi non invertibili. Una tale matrice **Y** prende il nome di inversa generalizzata di **A**. A differenza della tradizionale inversa di una matrice quadrata, questa matrice non è unica. Tuttavia, sotto certe ipotesi [9], può essere individuata una matrice unica che è chiamata pseudoinversa e viene indicata con $\mathbf{A}$. Quando **A** ha dimensioni $m \times n$, la sua pseudoinversa ha dimensioni $n \times m$. Quando **A** è quadrata ed invertibile, la sua pseudoinversa coincide con la sua inversa tradizionale.
Utilizzando la pseudoinversa della matrice economica **A**, è possibile calcolare il vettore di scala $\mathbf{s} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{f}$ anche quando **A** è rettangolare. Occorre però valutare caso per caso se la soluzione ottenuta attraverso la pseudoinversa è una soluzione accettabile. Per effettuare tale verifica occorre sostituire nell'espressione matriciale del sistema originario il valore di **s** trovato. Se il vettore $\tilde{\mathbf{f}}$ così ottenuto non si discosta significativamente[3] dal vettore unità funzionale $\mathbf{f}$ fissato (ossia se il modulo del vettore di discrepanza $\mathbf{d} = \tilde{\mathbf{f}} - \mathbf{f}$ è prossimo allo zero) allora la soluzione ottenuta con la pseudoinversa può essere ritenuta accettabile.
È stato evidenziato [1] che quando si applica il metodo della pseudoinversa ad un sistema multifunzionale che include soltanto un riciclaggio a circuito chiuso, la soluzione ottenuta ha un vettore di discrepanza nullo e quindi non sussiste alcun motivo per ricorrere a procedure di allocazione.

[3] La soglia di significatività dello scostamento viene definita dall'analista LCA in riferimento alla propria esperienza.

In generale, in presenza di matrici di inventario rettangolari, la pseudoinversa può in alcuni casi fornire una soluzione esatta. Per i casi in cui la soluzione ottenuta con la pseudoinversa non è esatta (o comunque accettabile), il ricorso alle procedure di allocazione resta necessario [3].

3. Soluzione di un sistema sovradeterminato tramite Total Least Squares (TLS)

È noto che in presenza di sistemi di equazioni sovradeterminate, uno degli approcci maggiormente utilizzati per la determinazione di una soluzione approssimata è costituito dal metodo dei minimi quadrati. Si prenda in considerazione il caso semplice di un processo e di molti flussi economici. Siano $a_1, a_2, \ldots, a_m$ le componenti del vettore **a** che esprime le connessioni fra i flussi economici e l'unico processo in questione. Siano poi $f_1, f_2, \ldots, f_m$ le componenti del vettore unità funzionale **f**. Attraverso il metodo dei minimi quadrati è possibile determinare le componenti del vettore soluzione **s** del sistema $\mathbf{a} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{f}$ come quei valori che determinano il minimo della sommatoria:

$$\sum_{i=1}^{m} \left(a_i \cdot s_i - f_i\right)^2 \tag{1}$$

Il summenzionato metodo dei minimi quadrati ordinari (Ordinary Least Squares – OLS) trova una soluzione approssimata del sistema $\mathbf{A} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{f}$, ossia risolve il sistema $\mathbf{a} \cdot \mathbf{s} \approx \mathbf{f}$. Più genericamente, passando dal caso monodimensionale al caso di dimensione *n*, il vettore **a** diviene una matrice $\mathbf{A} \in \Re^{m \times n}$ e quindi il sistema in oggetto si esprime matematicamente come $\mathbf{A} \cdot \mathbf{s} \approx \mathbf{f}$. La principale assunzione del metodo OLS consiste nel fatto che i coefficienti a_i sono considerati esatti, mentre i coefficienti f_i si assumono affetti da errore, per cui la soluzione OLS viene ottenuta risolvendo in realtà il sistema $\mathbf{A} \cdot \mathbf{s} = \mathbf{f} + \Delta\mathbf{f}$, dove $\Delta\mathbf{f}$ è il vettore degli errori corrispondente ad una perturbazione nel vettore dei termini noti **f**. La soluzione OLS è quindi determinata in modo da minimizzare la norma Euclidea $\left\|\Delta\mathbf{f}\right\|_2 = \sum_{i=1}^{m} \left(\Delta f_i\right)^2$.

Tuttavia in tutti i problemi reali, in cui la matrice **A** del sistema contiene i risultati di misure di campo, è realistico pensare che anche i suoi elementi siano affetti da errori di vario genere. In tal caso sarebbe opportuno applicare il metodo dei minimi quadrati totali (Total Least Squares – TLS) [10], che risolve il sistema $\left(\mathbf{A} + \Delta\mathbf{A}\right)\mathbf{s} = \mathbf{f} + \Delta\mathbf{f}$, dove $\Delta\mathbf{A}$ è la componente di errore della matrice **A**.

In pratica, il problema TLS classico cerca le minime correzioni $\Delta\mathbf{A}$ e $\Delta\mathbf{f}$ che rendono risolvibile il sistema $\left(\mathbf{A} + \Delta\mathbf{A}\right)\mathbf{s} = \mathbf{f} + \Delta\mathbf{f}$, ossia:

$$\left\{\mathbf{s}_{TLS}, \Delta\mathbf{A}_{TLS}, \Delta\mathbf{f}_{TLS}\right\} = \arg \min_{\mathbf{s}, \Delta\mathbf{A}, \Delta\mathbf{f}} \left\| \left[\Delta\mathbf{A} \middle| \Delta\mathbf{f} \right] \right\|_F \quad \text{tale che } \left(\mathbf{A} + \Delta\mathbf{A}\right)\mathbf{s} = \left(\mathbf{f} + \Delta\mathbf{f}\right) \tag{2}$$

Nell'equazione (2) $\left[\Delta\mathbf{A} \middle| \Delta\mathbf{f}\right]$ rappresenta la matrice di correzione $\Delta\mathbf{A}$ aumentata di dimensione attraverso la giustapposizione del vettore $\Delta\mathbf{f}$ e $\left\|\left[\Delta\mathbf{A} \middle| \Delta\mathbf{f}\right]\right\|_F$ rappresenta la norma di Frobenius della matrice di correzione, definita come:

$$\left\|\left[\Delta\mathbf{A} \mid \Delta f\right]\right\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n+1} \left[\Delta a \mid \Delta f\right]_{i,j}^2} \tag{3}$$

Si noti che, sebbene in [10] venga utilizzata la norma di Frobenius, in linea di principio per definire la funzione da minimizzare potrebbe essere impiegata qualunque altra norma.

Se si assume che il vettore dei termini noti **f** sia esatto e che soltanto la matrice **A** possa essere affetta da errore, si ottiene l'approccio detto Data Least Squares (DLS) [11], che risolve il sistema $\left(\mathbf{A} + \Delta\mathbf{A}\right)\mathbf{s} = \mathbf{f}$ minimizzando la norma $\left\|\Delta\mathbf{A}\right\|_F = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \Delta a_{i,j}^2}$. Anche in questo caso potrebbe essere utilizzata qualsiasi altra norma.

Nel classico problema di inventario che generalmente occorre risolvere nella LCA, il vettore unità funzionale **f** è fissato dall'utente e quindi si può assumere come esente da errore. Invece la matrice **A**, descrivendo i flussi all'interno del sistema economico ed essendo il frutto di un processo di stima, è certamente affetta da errori e incertezze. Di conseguenza, se si accetta l'ipotesi che **f** sia esatto (il che significa accettare che quando i flussi economici del sistema sono esattamente quelli descritti dalla matrice tecnologica, gli output del sistema sono esattamente quelli descritti dal vettore **f** fissato), il problema da affrontare si identifica come un problema di tipo DLS. Tuttavia, se si suppone che, per qualsiasi ragione, l'output fornito dal sistema possa essere differente da quello descritto dall'unità funzionale prescelta, il problema si configura allora di tipo TLS.
In realtà, l'approccio applicato nel presente lavoro è quello descritto in [12], in cui i tre problemi di regressione sono stati unificati utilizzando una formulazione parametrica di una funzione d'errore, la cui minimizzazione fornisce la corrispondente soluzione.
L'errore è definito dall'espressione:

$$E(s)=\frac{(\mathbf{A}\cdot\mathbf{s}-\mathbf{f})^{T}(\mathbf{A}\cdot\mathbf{s}-\mathbf{f})}{1-\xi+\xi\mathbf{s}^{T}\mathbf{s}} \quad (4)$$

dove ξ è pari a 0 se si cerca la soluzione OLS, a 0.5 per ottenere la soluzione TLS e ad 1 per ottenere la soluzione DLS.
L'approccio utilizzato si basa sull'applicazione di un algoritmo iterativo che calcola la soluzione alla generica iterazione $\mathbf{s}(k+1)$ tramite la seguente legge di aggiornamento:

$$\mathbf{s}(k+1)=\mathbf{s}(k)-\alpha(k)\gamma(k)\mathbf{a}(k)+\left[\xi\alpha(k)\gamma^{2}(k)\right]\mathbf{s}(k) \quad (5)$$

dove:

$$\gamma(k)=\frac{\mathbf{a}(k)\mathbf{s}(k)-\mathbf{f}(k)}{1-\xi+\xi\mathbf{s}(k)^{T}\mathbf{s}(k)} \quad (6)$$

dove $\alpha(k)$ il tasso di aggiornamento, ossia un parametro che regola l'entità dell'aggiornamento del vettore soluzione **s** all'iterazione *k*; $\mathbf{a}(k)$ la riga di **A** utilizzata all'istante *k* ed $\mathbf{f}(k)$ il valore corrispondente del vettore dei termini noti **f**. La soluzione TLS può essere implementata anche facendo variare linearmente il valore del parametro ξ da 0 a 0.5 per poi lasciarlo costante. Questa variazione del parametro ξ migliora la velocità e l'accuratezza della tecnica iterativa [13].
Il metodo appena descritto guida il vettore $\mathbf{s}(k)$ verso la soluzione in modo graduale, garantendo una rapida convergenza [13].

4. Caso studio

Il questo paragrafo viene presentata l'applicazione della metodologia precedentemente descritta ad un caso studio. Lo stesso caso studio è stato già affrontato anche in [1], seguendo l'approccio tradizionale che passa attraverso i metodi di sostituzione ed allocazione. I risultati ottenuti utilizzando il TLS verranno confrontati con quelli mostrati in [1].
La base dello spazio vettoriale per il caso esaminato è definita (seguendo l'ordine dalla prima all'ultima riga della matrice economica) come segue: *lampade ad incandescenza*, *MJ di energia elettrica*, *lampade ad incandescenza dismesse*, *ore di illuminazione da lampade ad incandescenza*, *kg di vetro*, *kg di rame*, *kg di carburante*, *lampade fluorescenti*, *lampade fluorescenti dismesse*, *ore di illuminazione da lampade fluorescenti*, *MJ di energia termica*, *kg di rame riciclato*, *kg di rifiuti*.
I nomi dei processi corrispondenti sono: *produzione di lampade ad incandescenza*, *produzione di energia elettrica*, *termovalorizzazione di lampade ad incandescenza dismesse*, *uso di lampade ad incandescenza*, *produzione di vetro*, *produzione di rame*, *produzione di carburante*, *produzione di lampade fluorescenti*, *termovalorizzazione di lampade fluorescenti*, *uso di lampade fluorescenti*.
La matrice economica per il caso in oggetto è definita nell'Eq. (7).

$$
\mathbf{A} = \begin{pmatrix}
-1 & 10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
-10^4 & -10^3 & 10^6 & 0 & -10^2 & -10^4 & 0 & -5\times10^3 & -3\times10^3 & 0 \\
1 & 0 & 0 & -10^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
5\times10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -10 & 0 & 0 & 10^3 & 0 & 0 & 0 & -20 & 0 \\
0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 10^2 & 0 & 0 & -150 & 0 \\
0 & 0 & -5\times10^2 & 0 & 0 & 0 & 10^3 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 10^3 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -10^2 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 25\times10^3 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 2\times10^6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2
\end{pmatrix} \quad (7)
$$

Considerando che il flusso di rifiuti è prodotto da uno dei processi del sistema, ma non viene ricevuto in input da nessun altro processo, esso può essere eliminato dal sistema (cut-off). Inoltre i processi *produzione di elettricità* e *termovalorizzazione di lampade ad incandescenza dismesse* risultano essere processi multifunzionali (presentano due valori positivi, ossia due output, nel vettore di processo corrispondente). Il primo di essi è stato trattato in [1] attraverso il metodo di partizione, utilizzando un fattore di allocazione pari a 0.8 per l'energia elettrica e 0.2 per l'energia termica. Il secondo è stato trattato con il metodo di sostituzione, considerando il rame riciclato come equivalente al rame, ma utilizzando un fattore di correzione pari a 0.9 per tener conto della differente qualità. Nonostante il processo *uso di lampade ad incandescenza* abbia due output, non si tratta di un processo multifunzionale in quanto uno solo di essi è un prodotto.
Il caso studio è stato affrontato per due diverse unità funzionali: *10 ore di illuminazione da lampade ad incandescenza* ($\mathbf{f}_1$) e *10 ore di illuminazione da lampade fluorescenti* ($\mathbf{f}_2$).
La matrice ambientale utilizzata per il caso studio è definita nell'Eq. (8). Essa si riferisce alla base dello spazio vettoriale definita dai seguenti flussi ambientali: *kg di CO_2 rilasciati in aria*, *kg di SO_2 rilasciati in aria*, *kg di rame rilasciati nel suolo*, *kg di sabbia*, *kg di rame minerale estratti*, *kg di petrolio greggio estratti*.

$$
\mathbf{B} = \begin{pmatrix}
0 & 0 & 10^3 & 10^2 & 0 & 0 & 200 & 0 & 0 & 200 \\
0 & 0 & 10^2 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0.75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -10^3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.2\times10^3 & 0 & 0 & 0
\end{pmatrix} \quad (8)
$$

I vettori di inventario relativi alle unità funzionali sopra riportate sono stati determinati in [1] trasformando la matrice $\mathbf{A}$ in una matrice quadrata $\mathbf{A}'$ tramite le tecniche anzidette. La matrice $\mathbf{B}$ è stata trasformata in una matrice $\mathbf{B}'$ ottenuta con gli stessi fattori di allocazione.
Gli eco-profili $\mathbf{g}_1$ e $\mathbf{g}_2$ relativi ad $\mathbf{f}_1$ ed $\mathbf{f}_2$ (ottenuti attraverso le equazioni: $\mathbf{g}_1 = \mathbf{B}' \cdot (\mathbf{A}')^{-1} \cdot \mathbf{f}_1$ e $\mathbf{g}_2 = \mathbf{B}' \cdot (\mathbf{A}')^{-1} \cdot \mathbf{f}_2$) sono:

$$\mathbf{g}_1 = \begin{pmatrix} 2.0\times10^{-2} \\ 1.6\times10^{-3} \\ 1.5\times10^{-5} \\ -2.0\times10^{-5} \\ -1.0\times10^{-5} \\ 9.6\times10^{-3} \end{pmatrix} \text{ e } \mathbf{g}_2 = \begin{pmatrix} 2.6\times10^{-3} \\ 1.6\times10^{-4} \\ 1.6\times10^{-5} \\ -8\times10^{-6} \\ -6\times10^{-4} \\ -9.6\times10^{-4} \end{pmatrix} \tag{9}$$

La soluzione TLS è stata invece ottenuta minimizzando la funzione riportata nell'Eq. (4) per successive iterazioni. Il metodo è stato applicato facendo variare, oltre che il parametro ξ, anche il numero di cicli di iterazione ($n=10,\dots150$) ed il tasso di aggiornamento α ($\alpha=0.1,\dots,1$) e calcolando, per ciascuna combinazione di n ed α, il vettore di discrepanza ed il relativo modulo. La soluzione scelta[4] sia per l'unità funzionale $\mathbf{f}_1$ che per l'unità funzionale $\mathbf{f}_2$ è quella ottenuta per $\alpha=0.1$ ed $n=10$. In questo caso gli eco-profili ottenuti, che indichiamo per comodità con $\mathbf{g}_1^{TLS}$ e $\mathbf{g}_2^{TLS}$, sono:

$$\mathbf{g}_1^{TLS} = \begin{pmatrix} -5.5\times10^{-1} \\ 6.7\times10^{-4} \\ 3.7\times10^{-4} \\ -12.49 \\ -7.0\times10^{-3} \\ -1.6\times10^{-1} \end{pmatrix} \text{ e } \mathbf{g}_2^{TLS} = \begin{pmatrix} 5.32 \\ 2.19\times10^{-3} \\ 4.72\times10^{-2} \\ -4.43\times10^{-1} \\ -0.24\times10^{-1} \\ -3.0\times10^{-1} \end{pmatrix} \tag{10}$$

Interessanti informazioni possono essere tratte dall'osservazione delle superfici d'errore espresse dalla (4). A titolo esemplificativo in Fig. 1 sono mostrate le superfici d'errore ottenute per il vettore unità funzionale $\mathbf{f}_1$, tenendo tutte le variabili fisse e pari al valore da esse raggiunto nell'ultima iterazione, ad eccezione di due (s_4 ed s_{10} per la Fig. 1(a); s_4 ed s_7 per la Fig. 1(b)).

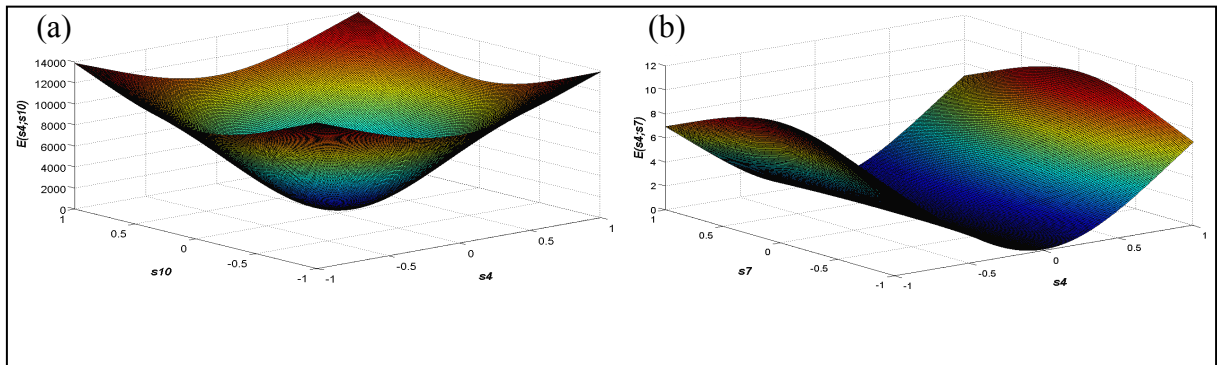



Fig. 1 – *Superfici d'errore ottenute per l'unità funzionale* $\mathbf{f}_1$ *in funzione delle coppie di variabili* $(s_4;s_{10})$ *(a) ed* $(s_4;s_7)$ *(b)*

Si noti che a variazioni sia della componente s_4 che della componente s_{10} del vettore soluzione (che nella fattispecie sono le variabili a cui sono legate le due unità funzionali $\mathbf{f}_1$ ed $\mathbf{f}_2$) corrisponde una rapida variazione dell'errore *E*; di conseguenza il minimo della superficie viene raggiunto più rapidamente muovendosi lungo quelle direzioni (vedi Fig. 1(a)).

[4] Quella che ha dato luogo al vettore di discrepanza con il modulo minore.

Accoppiando la variabile s_4 (o la variabile s_{10}) con una qualunque delle altre variabili, la direzione di massimo gradiente è sempre quella di s_4 (o quella di s_{10}), come mostrato, a titolo di esempio, in Fig. 1(b).
Un comportamento del tutto analogo è stato riscontrato anche per le superfici d'errore relative all'unità funzionale $\mathbf{f}_2$.
Visualizzando le superfici d'errore relative a coppie di componenti del vettore soluzione, è possibile valutare l'influenza relativa delle suddette componenti sulla velocità di convergenza.
Ad esempio, in Fig. 2 sono mostrate le superfici d'errore ottenute in funzione delle coppie di componenti $(s_1;s_9)$ ed $(s_2;s_5)$.

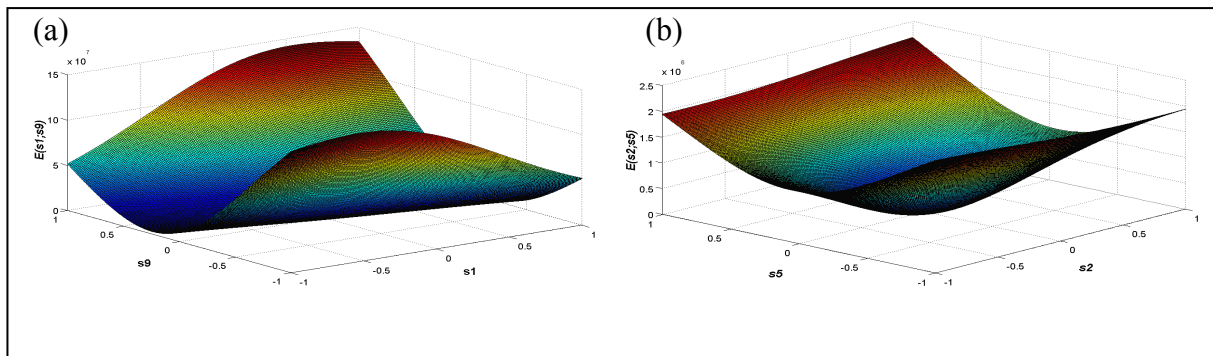



Fig. 2 – *Superfici d'errore ottenute per l'unità funzionale* $\mathbf{f}_1$ *in funzione delle coppie di variabili* $(s_1;s_9)$ *(a) ed* $(s_2;s_5)$ *(b)*

Dall'osservazione della Fig. 2(a) è possibile notare che lungo la direzione di s_9 il gradiente della superficie è nettamente maggiore che nella direzione s_1. Inoltre nella direzione s_5 si ha un gradiente maggiore che nella direzione s_2, tranne che in prossimità del minimo (vedi Fig. 2(b)).

Le componenti alle quali corrisponde un gradiente della superficie molto basso (ossia la superficie d'errore è sostanzialmente orizzontale in quella direzione) sono ovviamente tali che a variazioni anche significative di esse corrisponde una variazione dell'errore prossima allo zero. Tali componenti sono quindi quelle che rallentano la convergenza dell'algoritmo.

Al fine di accelerare la convergenza potrebbero ad esempio essere implementati algoritmi che anziché aggiornare la soluzione secondo la regola data dall'Eq. (5) si muovano ad ogni passo di iterazione con un tasso di aggiornamento variabile in funzione del gradiente locale.

Appare utile sottolineare che utilizzando il metodo TLS, che si basa sempre sulla stessa matrice rettangolare **A**, la soluzione resta unica (una volta individuati il valore di α ed il numero di iterazioni che minimizzano il vettore di discrepanza). Quando invece si impiegano i metodi di risoluzione tradizionali basta variare i fattori di allocazione o i fattore di correzione (nel caso in specie il valore del rame riciclato) per ottenere eco-profili significativamente diversi.

Se, ad esempio, si scegliessero come fattori di allocazione 0.6 per l'energia elettrica e 0.4 per l'energia termica e per il rame un fattore di correzione pari a 0.75, i vettori di inventario ottenuti per le unità funzionali $\mathbf{f}_1$ ed $\mathbf{f}_2$ sarebbero quelli mostrati nell'Eq. (11):

$$\mathbf{g}_1^{new} = \begin{pmatrix} 1.52\times10^{-2} \\ 1.23\times10^{-3} \\ 1.5\times10^{-5} \\ -2.0\times10^{-5} \\ -2.5\times10^{-5} \\ -7.2\times10^{-3} \end{pmatrix} \text{ e } \mathbf{g}_2^{new} = \begin{pmatrix} 2.12\times10^{-3} \\ 1.23\times10^{-4} \\ 1.6\times10^{-5} \\ -8.0\times10^{-6} \\ -6.0\times10^{-4} \\ -7.22\times10^{-4} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Le variazioni percentuali fra i vettori di inventario mostrati nell'Eq. (11) e quelli mostrati nell'Eq. (9) sono riportati nella Tab. 1.

Flusso ambientale	$\left(\mathbf{g}_1^{new} - \mathbf{g}_1\right)$ **[%]**	$\left(\mathbf{g}_2^{new} - \mathbf{g}_2\right)$ **[%]**
kg di CO_2 rilasciati in aria	-24.0	-18.5
kg di SO_2 rilasciati in aria	-23.1	-23.1
kg di rame rilasciati nel suolo	0.0	0.0
kg di sabbia	0.0	0.0
kg di rame minerale estratti	-150.0	0.0
kg di petrolio greggio estratti	-175.0	175.2

Tab. 1 – *Variazioni percentuali negli elementi dei vettori di inventario ottenuti variando i fattori di allocazione dell'energia elettrica e dell'energia termica ed il fattore di correzione per il rame riciclato*

5. Conclusioni

L'applicazione di un approccio risolutivo come il TLS nella redazione dell'inventario con il MM può rivelarsi utile sia in presenza di processi multifunzionali nella matrice di inventario, che in quei casi in cui la matrice economica è rettangolare ma il metodo della pseudoinversa non consente di ottenere una soluzione affidabile.

Il vantaggio dell'utilizzo di tale approccio consiste nella possibilità di evitare il ricorso ad alcuni artifici matematici per trasformare la matrice economica rettangolare in una matrice quadrata ed invertibile. Tali artifici comportano l'introduzione di molteplici assunzioni. Anche a causa di tali inevitabili assunzioni il ricorso all'allocazione costituisce uno degli anelli metodologici più deboli della LCI.

Il caso studio mostrato in questo lavoro pone a confronto le soluzioni ottenute con il metodo tradizionale e con l'approccio TLS per un sistema sufficientemente articolato, con una matrice di inventario di dimensione 13×10. Il sistema contiene due processi multifunzionali, flussi economici di tipo "prodotto" e flussi di tipo "rifiuto" ed un processo con produzione di rifiuti, il cui flusso però, non essendo utilizzato come input da nessun altro processo, può essere eliminato dal sistema attraverso una procedura di cut-off. I risultati ottenuti per le due unità funzionali analizzate consentono di formulare le seguenti considerazioni:

1. gli eco-profili ottenuti applicando il metodo TLS non sono influenzati da scelte soggettive dell'operatore, fatta salva la scelta del numero di passi di iterazione e del tasso di aggiornamento α, che è tuttavia guidata dall'indicatore di scelta costituito della norma del vettore di discrepanza. Gli eco-profili ottenuti con l'approccio tradizionale sono invece significativamente influenzati dalle scelte compiute dall'analista, come dimostrato in questo lavoro dalle elevate variazioni percentuali ottenute a seguito di una differente scelta dei fattori di allocazione;
2. il metodo TLS, nella versione implementata nel presente lavoro, consente di effettuare, attraverso la visualizzazione delle superfici di errore, una valutazione delle componenti più critiche del vettore soluzione (vettore di scala) per il raggiungimento del minimo della superficie stessa.

Il metodo TLS mostra delle interessanti potenzialità risolutive nei casi nei quali la matrice di inventario è rettangolare ed il ricorso all'allocazione non è evitabile. La risoluzione diretta dei sistemi di equazioni con matrici dei coefficienti rettangolari evita il ricorso ad artifici tipici delle procedure allocative, limitando le assunzioni cui l'analista deve necessariamente ricorrere nel caso contrario.

4. Bibliografia

[1] Heijungs R., Suh S. *The computational structure of life cycle assessment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.

[2] Heijungs R. *A generic method for the identification of options for cleaner products*. Ecol. Econ. 10:69-81, 1994.

[3] Heijungs R., Frischknecht R. *A special view on the nature of the allocation problem*. Int. J. Life Cycle Assess. 3(5): 321-332, 1998.

[4] Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B. *A survey of unresolved problems in life cycle assessment – Part 1: goal and scope and inventory analysis*. Int. J. Life Cycle Assess. 13:290-300, 2008.

[5] Russel A., Ekvall T., Baumann H. *Life cycle assessment – introduction and overview*. J. Cleaner Prod. 13:1207–1210, 2005.

[6] International Standard ISO 14044. Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines, 2006.

[7] Guinée J.B., Heijungs R., Huppes G. *Economic Allocation: Examples and Derived Decision Tree*. Int. J. Life Cycle Assess 9(1):23-33, 2004.

[8] Golub, G.H., Van Loan C.F. *Matrix Computations*. Second Edition, The John Hopkins University Press, Baltimore, 1993.

[9] Harville, D.A. *Matrix algebra from a statistician's perspective*. Springer, New York, 1997.

[10] Golub G.H., Van Loan C.F. *An analysis of the total least squares problem*. SIAM J. on Num. Anal., vol. 17: 883–893, 1980.

[11] Van Huffel S., Vandewalle J. *The Total Least Squares Problems: Computational Aspects and Analysis*. Frontiers in Applied Mathematics. SIAM Philadelphia, 1991.

[12] Cirrincione G., Cirrincione M., Van Huffel S. *The GeTLS EXIN Neuron for Linear Regression*, Int. Jt. Conf. on Neural Netw. (IJCNN), Como (Italy), July 2000.

[13] Cirrincione M., Cirrincione G., Pucci M., Capolino G.A. *An Enhanced Neural MRAS Sensorless Technique Based on Minor-Component-Analysis for Induction Motor Drives*. IEEE Int. Symp. on Ind. Electron. (ISIE), Dubrovnik, Croatia, June 20-23, 2005.

LA GESTIONE DEL CARBON FOOTPRINT A LIVELLO DI ORGANIZZAZIONE: COMPETITIVITÀ D'IMPRESA NELLA LOW-CARBON ECONOMY

Antonio Scipioni[1,2] (scipioni@unipd.it) – Alessandro Manzardo[2] – Monia Niero[2]– Anna Mazzi[2]

[1]*Coordinatore del Gruppo di Lavoro LCA rifiuti*

[2]*Centro Studi Qualità Ambiente, Dipartimento di Processi Chimici dell'Ingegneria, Università degli Studi di Padova, Via Marzolo 9, 35131 Padova*

ABSTRACT

La crescente attenzione della comunità internazionale per il problema del cambiamento climatico spinge il mondo delle imprese ad adottare metodi e strumenti per il calcolo e la gestione delle emissioni di gas climalteranti. Si tratta di una scelta strategica per le organizzazioni che vogliono essere competitive nella nuova economia emergente a basso tenore di carbonio (low-carbon economy).

A supporto delle imprese la comunità scientifica ha prodotto diversi standard per determinare l'impatto di un'organizzazione sul cambiamento climatico (Carbon Footprint); questi strumenti, se supportati dai principi dell'analisi di ciclo di vita, possono portare a notevoli miglioramenti nelle performance non solo ambientali ma anche economiche di un'organizzazione.

Il caso studio presentato in questa relazione propone un approccio nuovo per valutare l'impatto che un'organizzazione ha sul cambiamento climatico adottando un'ottica di ciclo di vita, in particolare guardando anche ai processi della supply chain dell'organizzazione.

I risultati a cui perviene il caso analizzato mostrano come uno studio di Carbon Footprint applicato ad una filiera consente di individuare le fasi ed i processi maggiormente responsabili dell'impatto sul cambiamento climatico e che non sarebbe possibile conoscere con un Carbon Footprint della sola organizzazione. Ciò permette di definire interventi di riduzione realmente efficaci in un'ottica di ciclo di vita.

1. Introduzione

All'interno della comunità scientifica internazionale che si occupa della diffusione del Life Cycle Thinking e dell'implementazione della metodologia Life Cycle Assessment (LCA) si stanno sviluppando in maniera sempre più diffusa studi e dibattiti circa il ruolo del Carbon Footprint (CF), una misura per valutare in un'ottica di ciclo di vita i potenziali impatti sul cambiamento climatico di un'organizzazione, un prodotto o un servizio [1]. Secondo alcuni "puristi" dell'LCA l'utilizzo del CF è in contrasto con l'idea di ottenere una valutazione complessiva dei potenziali impatti ambientali, dal momento che considerando un'unica categoria di impatto fornisce una valutazione solo parziale degli impatti ambientali dei prodotti e dei processi [2].

In realtà questo strumento, la cui promozione è nata da iniziative di singole organizzazioni non governative, aziende e istituzioni private, sta avendo un'ampia diffusione che può essere spiegata, rispetto al tradizionale uso della metodologia LCA, nella maggiore attrattività e capacità di comunicare in maniera diretta ed immediata i risultati dell'applicazione [1]. La larga diffusione del Carbon Footprint nelle organizzazioni di diversi settori si spiega dunque con la sua capacità di risolvere alcuni punti di debolezza dell'LCA, la cui diffusione su larga scala è stata spesso ostacolata dalla difficoltà di comunicare in maniera chiara i risultati e di ottenere informazioni utili per prendere decisioni strategiche [2].

Gli studi di Carbon Footprint rispondono inoltre alla crescente attenzione della comunità internazionale per i cambiamenti climatici dovuti alle emissioni antropogene di gas climalteranti (GHG – Green House Gases: CO_2, NH_4, N_2O, SF_6, HFCs, PFCS). Da tale interesse ha preso forma e consistenza il fenomeno del green consumering [3], tanto che la proattività ambientale, per un'azienda, può costituire oggi una concreta opportunità per conseguire un vantaggio rispetto ai competitors [4], e quindi contribuire alla crescita e allo sviluppo della *low carbon economy* (economia a basso tenore di carbonio) [5],[6].

Proprio in questo contesto negli ultimi anni alcuni tra i principali gruppi industriali in Europa e nel mondo hanno riconosciuto la necessità di adottare opportuni strumenti e metodi per misurare, monitorare, rendicontare e gestire con efficacia il proprio CF a livello di organizzazione [7],[8],[9],[10],[11],[12]. In letteratura il CF viene definito come la misura che consente di individuare e quantificare le emissioni di anidride carbonica e di altri gas ad effetto serra lungo tutta la supply chain di un bene o di un servizio. Esso dunque, costituisce un metodo per analizzare le emissioni di gas serra di un prodotto o servizio, lungo l'intero ciclo di vita, dall'estrazione delle materie prime allo smaltimento finale, secondo un approccio "from cradle to grave" [13],[14],[15].
In risposta alle necessità delle imprese di monitorare e gestire in chiave strategica il proprio impatto sul cambiamento climatico, negli ultimi anni sono state prodotte diverse linee guida e standard per l'analisi del Carbon Footprint a livello di organizzazione. In particolare:

- il World Business Council for Sustainable Development (WBSCD[5]) ha pubblicato nel 2004 [16] una revisione al GHG Protocol Corporate Standard del 2001, un documento che fornisce linee guida e suggerimenti per l'implementazione di un sistema di monitoraggio volontario dei GHG a livello di organizzazione;
- l'International Organization for Standardization (ISO[6]) ha pubblicato la famiglia delle norme ISO 14064 [17], che fornisce i requisiti per il monitoraggio, la rendicontazione volontaria e la validazione di inventari di GHG o progetti relativi alla riduzione dei GHG a livello di organizzazione.

Entrambi questi standard sono validi riferimenti per condurre un monitoraggio rigoroso dei GHG e comunicare agli stakeholder d'impresa le performance ambientali di un'organizzazione. Tuttavia il loro limite principale è che non chiariscono su che base effettuare questa misura in un'ottica di supply chain. Secondo questi due standard, infatti, la rendicontazione dei processi della supply chain non è obbligatoria.
Per superare tale limite, è necessario collegare questi standard e metodologie con l'analisi di ciclo di vita, descritta all'interno della famiglia delle norme ISO 14040, in modo da consentire una valutazione che guarda lungo tutta la supply chain di un bene od un servizio [18],[19].

2. L'applicazione del Carbon Footprint a livello di Organizzazione e di Supply Chain: un caso studio

Per un corretto trattamento delle tematiche ambientali è strategico per un'organizzazione non solo intervenire direttamente nei propri processi produttivi per ridurre gli impatti ambientali, ma anche adottare programmi di intervento condivisi con gli altri attori della filiera in cui opera (la filiera è definita come l'insieme delle aziende che concorrono alla formazione, distribuzione e commercializzazione di un prodotto – supply chain). Infatti, la risoluzione efficace di molte problematiche ambientali è davvero possibile solo con la collaborazione di tutte le parti interessate che intervengono nella realizzazione di prodotti e nell'erogazione di servizi, dal produttore di materie prime al trasportare al realizzatore del prodotto al distributore e al gestore del rifiuto finale [20].
Obiettivo dello studio è quindi quello di valutare come un approccio di ciclo di vita possa essere applicato nel calcolo del Carbon Footprint di un'organizzazione e della sua filiera e quindi valutare i possibili benefici che derivano da questo approccio.
L'opportunità di condurre la ricerca è venuta da PALM SpA, azienda leader in Italia per la produzione di imballaggi in legno, che si è posta come obiettivo quello di sviluppare un modello affidabile per il calcolo e la gestione del Carbon Footprint dell'intera filiera di cui è parte.
Lo studio ha preso in considerazione le attività e le operazioni svolte dalla supply chain di PALM nel 2007.
In particolare, i risultati attesi da questo lavoro possono essere formulati come segue:

[5] www.wbcsd.org
[6] www.iso.org

- sviluppare una metodologia per calcolare il CF sia dell'organizzazione PALM che della sua filiera;
- identificare i processi della filiera che maggiormente impattano sul cambiamento climatico;
- coinvolgere fornitori e clienti di PALM in piani e programmi per ridurre l'impatto sul cambiamento climatico del'intera filiera con maggiore efficacia.

2.1 Strumenti e metodi: la norma UNI ISO 14064-1

La metodologia a maggior rigore scientifico per il calcolo del Carbon Footprint a livello di organizzazione viene presentata all'interno della norma internazionale UNI ISO 14064-1, che specifica i requisiti per la rendicontazione, il monitoraggio e la gestione dei GHG e guida nella gestione degli inventari dei GHG nel rispetto del Protocollo di Kyoto.
Secondo la norma UNI ISO 14064-1, le fasi principali per il calcolo del Carbon Footprint sono:

- Fase 1 – Definizione dei confini organizzativi: vengono identificate le attività ed i processi interessati dal calcolo del Carbon Footprint e viene determinato il livello di aggregazione delle emissioni dei GHG;
- Fase 2 – Definizione dei confini operativi: vengono identificate e documentate le emissioni di GHG relative a tutti i processi interessati allo studio, suddividendole in categorie di emissioni dirette (quali emissioni dirette di GHG da processi propri dell'organizzazione), indirette da consumi energetici (consumo di energia elettrica o vapore non prodotti ma importati ed utilizzati dall'organizzazione) e altre indirette (relative a tutti quei processi che non sono sotto il diretto controllo dell'organizzazione, come l'estrazione e la lavorazione delle materie prime, il trattamento degli scarti di produzione, la gestione a fine vita); la suddivisione in categorie consente di esprimere gli impatti di CO_2 equivalente distinti per tipologia di processo/impianto/attività/risorse in funzione delle necessità dell'organizzazione. Va precisato che la norma prevede l'obbligo di rendicontazione delle prime due categorie lasciando all'organizzazione la scelta di considerare quelle della terza categoria.
- Fase 3 – Quantificazione delle emissioni di GHG: una volta conclusa l'identificazione delle fonti di emissione, si procede con la raccolta dei dati per le attività considerate (es. consumi di energia elettrica, gas metano, materie prime, materiali ausiliari ecc.), con la selezione o lo sviluppo di fattori unitari di emissione (f.u.e.) appropriati (fattori di conversione che consentono di esprimere un'unità di materia in termini di emissioni di GHG), e infine con il calcolo del Carbon Footprint; in questa fase particolare attenzione va dedicata alla definizione dei fattori unitari di emissione che esprimono le ton CO_2 equivalente per unità di attività.
- Fase 4 – Realizzazione dell'inventario dei GHG: viene realizzato un registro delle emissioni in grado di raccogliere, elaborare, rendicontare e monitorare i dati sulle emissioni dirette ed indirette di GHG dei processi dell'organizzazione; questo strumento consente anche di quantificare e valorizzare gli impatti che le scelte dell'organizzazione hanno sul cambiamento climatico.
- Fase 5 – Realizzazione degli strumenti di gestione dei GHG: vengono predisposte procedure ed istruzioni al fine di garantire la gestione nel tempo dell'inventario delle emissioni di GHG.
- Fase 6 – La norma prevede inoltre la realizzazione di una dichiarazione sui GHG come un importante strumento di comunicazione sulle prestazioni ambientali dell'organizzazione in materia di riduzione di GHG.

2.2 Conduzione della ricerca

Nel caso in esame, per calcolare il Carbon Footprint in un'ottica di filiera, è stata applicata in modo originale la norma UNI ISO 14064-1: il calcolo delle emissioni, infatti, ha riguardato non solo i processi di una singola organizzazione, ma anche i processi delle principali organizzazioni che intervengono nella filiera. In questo modo, l'approccio seguito nella ricerca ha portato a considerare tra le emissioni anche quelle generate da altri soggetti diversi dall'organizzazione in esame e per questo considerate dalla norma come indirette (come spiegato sopra).

Lo studio ha avuto inizio con un'approfondita analisi dei processi di PALM e della sua filiera che ha portato alla definizione dei confini organizzativi e di quelli operativi dell'intera filiera.
Al fine di non tralasciare processi significativi e quindi rappresentare correttamente la filiera di PALM è stato adottato un approccio di "ciclo di vita", ovvero si è preso in considerazione un generico prodotto dell'azienda e osservandolo "dalla culla alla tomba" si sono identificate tutte le operazioni che, nel corso della vita di quel prodotto, comportano emissioni di GHG in atmosfera (l'estrazione delle materie prime, la loro lavorazione, la trasformazione e distribuzione dei prodotti finiti e dei semilavorati, fino alla gestione del loro fine vita come rifiuti).
Le fonti di emissione sono quindi state classificate in emissioni dirette, indirette da consumo energetico ed altre indirette.
Conclusa questa prima parte dello studio, è seguita una fase di raccolta dati strutturata come segue:

1. raccolta di tutti i dati di attività relativi ai processi considerati all'interno dei confini organizzativi ed operativi;
2. raccolta di fattori unitari di emissioni tramite la ricerca su banche dati internazionali riconosciute.

Una volta raccolti tutti i dati e le informazioni rilevanti si è quindi determinato il Carbon Footprint di PALM e della sua filiera per l'anno 2007.
Parallelamente alle operazioni di raccolta dati, lo studio ha previsto:

1. la realizzazione di opportune procedure e strumenti di gestione che consentono a PALM di monitorare nel tempo le proprie emissioni di GHG e inoltre di valutare e quantificare come le proprie scelte e strategie impattano sul cambiamento climatico;
2. l'attivazione di un tavolo di lavoro che ha visto la partecipazione di diversi clienti e fornitori di PALM con l'obiettivo di trovare soluzioni comuni per la riduzione del Carbon Footprint della filiera.

3. Conclusioni

Il modello realizzato, grazie all'adozione di un approccio di ciclo di vita, ha consentito di determinare, nel rispetto dei requisiti delle norma UNI ISO 14064-1, le emissioni complessive di GHG prodotte da tutti gli attori della filiera di PALM: il loro valore ammonta per il 2007 a circa 17.000 tonnellate di CO2 equivalente.
Lo sviluppo di questo progetto ha messo in luce che le responsabilità di PALM nell'impatto generato sul cambiamento climatico sono contenute rispetto a quelle dell'intera filiera (Fig. 1). Infatti, mentre PALM è responsabile soltanto delle emissioni dirette (19%) e indirette da consumo energetico (inferiore a 1%), la filiera è responsabile dell'81% del totale delle emissioni di GHG.
Le considerazioni conclusive dello studio condotto su PALM e sulla sua filiera dimostrano come, per ottenere risultati significativi nella lotta al cambiamento climatico, sia necessario sviluppare accordi di collaborazione tra diversi soggetti economici coinvolti nel ciclo di vita del prodotto, in quanto ciascuno di loro preso singolarmente contribuisce in minima parte al problema, ma tutti insieme determinano impatti ambientali complessivi rilevanti.
Di conseguenza, soltanto dallo sforzo comune e condiviso dei diversi attori della filiera, si possono ottenere miglioramenti importanti per l'ambiente.
Lo studio condotto in PALM, inoltre, ha evidenziato quali sono i processi che maggiormente contribuiscono al cambiamento climatico: si tratta delle attività di trasporto delle materie prime che arrivano da paesi del nord e dell'est Europa. Questo ha consentito a PALM di lavorare in rete con clienti e fornitori, concentrandosi in particolare sul tema dei trasporti, che è il principale responsabile delle emissioni di GHG.
Questa collaborazione ha portato ad attivare accordi per realizzare nel prossimo futuro una "filiera corta" per l'approvvigionamento delle materie prime, che prevede la nascita di aziende per coltivare e lavorare il legno entro 50 km dalla sede di PALM.

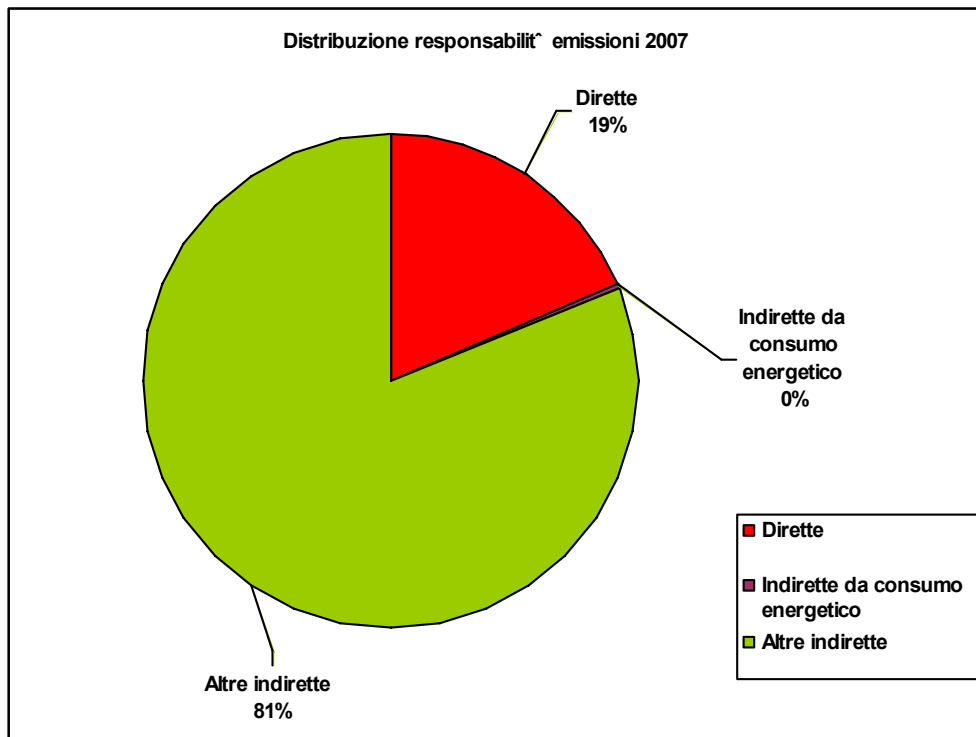



Fig. 1 – Distribuzione delle emissioni 2007

Questa soluzione contribuirà a ridurre sensibilmente l'impatto dell'azienda e della sua filiera sul cambiamento climatico, consentendo al contempo una riduzione dei costi di approvvigionamento alle aziende coinvolte e promuovendo lo sviluppo di nuove attività economiche a livello locale. Infine, l'applicazione del Carbon Footprint di filiera ha consentito a PALM di conseguire altri risultati di carattere gestionale:

- si è realizzato un sistema di gestione delle emissioni di GHG integrato con il sistema qualità già attivo in PALM;
- si è valutata la possibilità di valorizzare a fini energetici gli scarti in legno della produzione di PALM che, oltre a limitare l'impatto ambientale dovuto al consumo di energia, consentirebbe inoltre la riduzione della spesa energetica dell'organizzazione.

L'esperienza condotta in PALM e l'esperienza di altre aziende in Europa [7],[8],[9],[12], dimostrano l'utilità dell'approccio di ciclo di vita nel calcolo del CF di un'organizzazione. Infatti, in questo modo, è possibile individuare lungo tutta la filiera i processi particolarmente critici e le azioni di riduzione maggiormente efficaci e meno onerose in termini di costi. Inoltre, l'analisi del CF in un'ottica di filiera permette alle singole aziende di rafforzare i rapporti con i propri fornitori, di individuare maggiori opportunità di risparmio e di coinvolgere fornitori e clienti nell'impegno di riduzione delle emissioni di GHG.

4. Bibliografia

[1] Weidema Bo P., Thrane M., Christensen P., Schmidt J., Løkke S., 2008, Carbon Footprint: A catalist for LCA?, Journal of Industrial Ecology 12 (1), 3-6.

[2] Finkbeiner M., 2009, Carbon footprinting—opportunities and threats, International Journal of Life Cycle Assessment 14 (2), 91–94.

[3] Nyborg K., Howarth R.B., Brekke A.K, 2006, Green consumers and public policy: On socially contingent moral motivation, Resource and Energy Economics 28, 351–366.

[4] HM Majesty Treasury, 2007, Moving to a global low carbon economy: implementing the Stern Review, Crown copyright.

[5] High Level Group on Competitiveness, Energy and the Environment, 2007, Towards a Global Low Carbon Economy, Brussels.

[6] Claver E., Lòpez M.D., Molina J.F., Tarì J.J., 2007, Environmental management and firm performance: A case study, Journal of Environmental Management 84, 606–619.

[7] Carbon Trust, 2008, Working with Boots, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[8] Carbon Trust, 2008, Working with Continental Clothing, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[9] Carbon Trust, 2008, Working with HBOS, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[10] Carbon Trust, 2008, Working with Innocent, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[11] Carbon Trust, 2008, Working with PepsiCo and Walkers, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[12] Carbon Trust, 2008, Working with Tesco, Product carbon footprinting in practice, The Carbon Trust, London.

[13] JRC, 2007, Carbon Footprint What it is and how to measure it, Joint Research Center European Commission, Ispra (Va).

[14] BSI, 2008, PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle green house gas emission of goods and services, British Standard, Carbon Trust, Department for Environment Food and Rural Affairs.

[15] BSI, 2008, Guide to PAS 2050 – How to assess the carbon footprint of goods and services, British Standard, Carbon Trust, Department for Environment Food and Rural Affairs.

[16] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development), WRI (World Resource Institute), 2004, The Green House Gas Protocol. A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition, Earthprint Limited, USA.

[17] ISO (International Organization for Standardization), 2006, ISO14064-1: Greenhouse gases -- Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, ISO, Switzerland, Geneva.

[18] ISO (International Organization for Standardization), 2006, ISO 14040: Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework, ISO, Switzerland, Geneva.

[19] ISO (International Organization for Standardization), 2006, ISO 14044: Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines. Switzerland, Geneva: ISO.

[20] Carbon Trust, 2006, Carbon Footprints in the supply chain: the next step for business, Carbon trust, London.

LA CARBON FOOTPRINT COME STRUMENTO COMPETITIVO NELLA NUOVA LOW-CARBON ECONOMY

Vito D'Incognito

Take Care International

ABSTRACT

Nel corso degli ultimi anni, nel mondo tradizionale della LCA, si è fatta largo la carbon footprint con il risultato di dare impulso agli stessi studi di LCA ma creandosi degli spazi specifici di applicazioni come verrà mostrato nel corso della presentazione.
In questa memoria verranno discussi Le origini della carbon footprintLe norme che permettono di realizzare l'assessment di carbon footprintUn esempio di carbon footprint realizzato dall'autore.

1. Contesto attuale e a breve

Per i *practitioners* della LCA la Carbon Footprint (CF) non è una novità, essa infatti è legata all'indicatore di impatto ambientale GWP che, come è noto a tutti, esprime il contributo delle emissioni di alcuni gas che contribuiscono all'effetto serra attraverso specifici comportamenti chimici che tendono ad incrementare il radiative forcing, ovvero la potenza radiante dell'atmosfera terrestre. E' interessante rilevare come nell'ultimo rapporto dell'IPCC (1) vi siano evidenze di "impennate" sia nella concentrazione di gas serra, quali il CO_2, il CH_4 e l'N_2O che per quanto riguarda proprio il radative forcing che, nel corso di qualche decennio ha raggiunto valori prossimi ai 3 W/m^2 come si può vedere dalla tabella sottostante e dai grafici riportati nel suddetto rapporto.

GAS	*radiative forcing 2005*	*radiative forcing pre-industriale*	*rate or radiative ch'ange*	
CO2	*2W/m2*	*circa 0*		
CH4	*0,4 W/m2*	*circa 0*		
N2O	*0,2*	*circa 0*		
totale	*2,6 W/m2*		*0,035W/m2Y*	

Un ulteriore studio IPCC (2) sul ciclo dell'acqua ha portato alla conclusione che anche la presenza di vapore acqueo nella atmosfera terrestre è mediamente aumentato dell'1,2% nella decade 1994-2004, con tutto quello che ne consegue anche in termini di contribuzione al radiative forcing dovuto all'emissione nell'infrarosso del vapore d'acqua.
Inoltre, tenendo conto che ogni kg in più di vapore nell'atmosfera contiene circa 600 kcal/kg (2,51 MJ/kg) si può spiegare come il vapore, nel quale siamo immersi, toccando la pelle tende a rilasciare il calore di "condensazione" e a depositarsi come acqua, aggiungendo fastidio alla sudorazione che, nelle giornate calde ed umide dell'estate, ci da l'idea di essere in una pentola a pressione.
I dati della IPCC confermano sia l'enorme portata dei cambiamenti climatici che la stretta correlazione con le emissioni dei gas serra, in primis la combustione di combustibili fossili e poi tutti gli altri gas dovuti esclusivamente ad attività antropiche.
In questo quadro e, per contrastare l'aumento continuo delle emissioni di gas serra abbiamo assistito nel volgere di un decennio alla ratifica del protocollo di Kyoto con i suoi obiettivi di riduzione, alla emanazione della direttiva Europea 87/2003 sull'emission trading, in applicazione degli obiettivi sottoscritti nel protocollo di Kyoto, alla emissione della norma ISO 14064, alla conferenza di Bali, alla direttiva europea 20,20,20 che ha il target per il 2020 di
- produrre il 20% di fabbisogni energetici da fonti rinnovabili,
- di guadagnare il 20% attraverso l' efficienza energetica,
- di ottenere una riduzione del 20% dal settore trasporto.

E un quadro normativo che talvolta regolamenta in modo stingente le emissioni e talvolta lascia volontariamente la possibilità di contribuire all'obiettivo di ridurre le emissioni di CO_2.
Dall'altra parte le lobby energetiche e petrolifere, trascurando le evidenze proposte da IPCC e da altre istituzioni di ricerche, portano avanti programmi di produzione energetica che irridono alle fonti rinnovabili e puntano ad un significativo ritorno al nucleare, anche in Italia (3).
Va da se che non si può prescindere in questa valutazione dei gas serra da una seria politica energetica che non sia a senso unico ma che sappia esprimere sia le opportunità tecnologiche che le nuove esigenze ambientali determinate dalle conseguenze della stessa antropizzazione.
Giova ricordare che l'energia consumata a livello mondiale è circa 1/1000 della energia proveniente dal sole e che, solo nell'ultimo secolo, a partire dalla rivoluzione industriale, si sono alterati gli equilibri che la natura aveva raggiunto da sola (4).
Il contesto del prossimo decennio vede la estensione del protocollo di Kyoto al settore del trasporto e del trasporto aereo, vede il superamento delle emissioni di CO_2 degli USA da parte della Cina (nel 2007) e della India che sicuramente si attesterà in quarta posizione, sorpassando la ex Russia, vede gia oggi, oltre la metà della popolazione mondiale concentrata in grandi metropoli e prelude a possibili scenari da "lettere dal futuro" (5)*. E altrettanto noto che la parte più importante delle emissioni di gas serra è dovuta alla combustione di combustibili fossili e che, nel contesto internazionale, solo la comunità europea ha tentato di tradurre in azioni il protocollo di Kyoto con la emissione della direttiva EU 87/2003 relativa all'emission trading.
Dopo il primo periodo sperimentale (2005-2007) nel quale si è fatta esperienza e le quote di emissione venivano assegnate gratuitamente, a partire dal 2008 e fino al 2012 si è entrati nel II periodo della direttiva ET che vedrà la situazione sempre più impegnativa per le aziende soggette a tale normativa e, con l'esigenza di acquistare sul mercato, la frazione di quote in esubero rispetto a quelle assegnate (Concetto di Cap and trade).
Naturalmente sia i combustibili fossili che quelli fissili (per il nucleare) non hanno disponibilità infinite e quindi, oltre il pensiero delle lobby energetiche, occorre scommetter maggiormente sul rinnovabile e accompagnare il tutto con svolte anche negli stili di vita, per perseguire non lo sviluppo sostenibile ma la sostenibilità del pianeta, casa comune (oikos) (6).

* nell'appendice al riferimento 5 è riportata una "lettera dal futuro"scritta da laureati partecipanti ad un master in gestione integrata dell'energia, dopo alcune lezioni sullo sviluppo sostenibile, sui cambiamenti climatici e sui possibili scenari fra 40-50 anni.

2 Origini e affermazione della carbon footprint

In questo contesto come evoluzione dell'impronta ecologica e di "semplificazione" della LCA si è venuto a creare un interesse crescente per la carbon footprint sia come indicatore ambientale che come strumento di comunicazione ambientale. La carbon footprint ha guadagnato una notevole popolarità nel giro di pochi anni, in modo particolare in Inghilterra, che ha fatto da apripista, e si va diffondendo a macchia d'olio. Una prima importante considerazione è che la carbon footprint non si è sviluppata nel mondo della ricerca ma piuttosto attraverso iniziative di organizzazioni private o non governative e attraverso informazioni di tipo BtoB (business to business). Sorvolando sull'aspetto semantico se la carbin footprint debba riferirsi esclusivamente alla combustione di carbonio, come sostengono alcuni (Weidemann e Minx – (7)) si può asserire che la CF si è affermata in modo equivalente all'indicatore GWP della LCA ma soprattutto perché ha trovato spazi, per la sua relativa semplicità, all'esterno della comunità scientifica.
Indubbiamente il fatto di poter misurare tutto in termini di CO_2 equivalente può permettere di effettuare veloci comparazioni per valutare i contributi dovuti a consumi di beni, a viaggi e così via; in questa valutazione emerge che un "cittadino medio europeo" contribuisce per circa 12 ton di CO_2/anno, che un viaggio aereo nazionale contribuisce per diverse centinaia di kg di CO_2 ed un viaggio intercontinentale emette qualche ton di CO_2/persona.
Qualsiasi studio di LCA (Ecolabel, EPD) estende la valutazione a tutte le altre categorie di impatto ambientale e spesso, proprio la complessità di tali studi, le incertezze associate alle banche dati e ai metodi di valutazione hanno funzionato da freno nella diffusione della LCA al di fuori del mondo scientifico.

D'altra parte la semplicità del dato della carbon footprint si porta una prima conclusione: *"La valutazione su una singola categoria di impatto, proprio per la sua parzialità, può esprimere un giudizio fuorviante"*. (8)
Un significativo contributo alla affermazione della Carbon footprint è derivata dalla disponibilità di norme sulla LCA (ISO 14040-44) sulle dichiarazioni ambientali ed etichette di prodotto (ISO 14021-24-25), sul bilancio di gas serra a livello aziendale (ISO 14064) alle quali si è aggiunta la PAS 2050 (9) inglese che, in buona sostanza si sovrappone alle norme sulla LCA e, attraverso la linea guida applicativa (10), ne permette degli importanti chiarimenti sugli aspetti dei confini, delle allocazioni, del percorso top-down o button-up. Sebbene il mondo della LCA e quello della CF rimarranno separati non si può escludere a priori che ci siano trasferimenti di esperienze da un settore all'altro, come può essere il caso proprio della allocazione dei sottoprodotti, certamente, più dettagliata nella PAS 2050.
Ancora qualche considerazione sul dato quantitativo della CO_2; il dato numerico della CO_2 equivalente è generalmente riferito al ciclo di vita di un prodotto, d'altra parte è noto a tutti che nel mondo della LCA, si fa ricorso alle matrici di Input-output della economia, per esprimere gli impatti ambientali con riferimento ad unità monetarie. Personalmente ritengo il riferimento all'aspetto economico un indicatore "*debole*" e comunque applicabile in modo parziale e differenziato. Il fatto che con 1000 € al mese si possa condurre una vita da nababbi in molte aree geografiche quali Centro Sud-america, Africa, Cina, India, mentre in Occidente si può essere sulla soglia di povertà e quindi con accessi limitati a beni e servizi, esprime un potere di acquisto diverso, a secondo delle aree geografiche e quindi contiene altrettante differenze quando si trasformano gli aspetti economici in impatti ambientali.
Personalmente ritengo più appropriato l'utilizzo e la comunicazione del dato di CO_2 equivalente, avendo possibilmente il riferimento ad un valore di CO_2 per quella famiglia o categoria di prodotti, in modo da capire la posizione del prodotto in oggetto rispetto a valori di riferimento. (Christiansen et al-11). Questa operazione che esprime una sorta di Whegting per la specifica categoria di prodotto è quella che può davvero agevolare una valutazione diretta da parte dei consumatori, svincolandosi dall'economia, dai cambi monetari e poteri di acquisto.
Siamo di fronte ad una carbon footprint che chiede un supporto alle etichette ecologiche che, in prospettiva, dovrebbero per ogni categoria di prodotto, definire i requisiti di riferimento da considerare nelle valutazioni degli impatti ambientali o della carbon footprint.
Nella stessa direzione di sensibilizzare i consumatori va la logica proposta da alcuni governi europei di far conoscere il contributo di CO_2 associato al packaging per introdurre un sistema di tassazione proporzionale a tale valore di emissioni di GHG.
Le prospettive pertanto sono certamente di espansione del mercato della CF basato su norme volontarie mentre la prospettiva è che i governi, perseguendo obiettivi di riduzione delle emissioni possano introdurre tassazioni graduali e proporzionali ai contenuti di CO2 per promuovere i prodotti con la minore impronta di carbonio.

3. La norma PAS 2008

Nel corso del 2008 il BSI, in collaborazione con Carbon Trust e DEFRA ha emesso la norma PAS 2050 per la valutazione della carbon footprint di prodotto (inteso sia come prodotto che servizio).
Nella parte introduttiva la norma chiarisce gli obiettivi riguardanti sia le organizzazioni che i consumatori e poi, in modo analogo alla ISO 14040 esamina ed esemplifica, in modo puntuale tutte le fasi riguardanti la LCA riferendosi naturalmente ai gas ad effetto serra.
Tra gli obiettivi comuni della PAS 2050 si può considerare l'aspetto della comunicazione, da una parte le organizzazioni possono comunicare al mercato la carbon footprint di prodotto, dall'altra i consumatori più consapevoli possono scegliere i prodotti attraverso la conoscenza del dato di emissioni di CO_2 e altri gas serra; tuttavia giova ricordare che la norma non fornisce requisiti per la comunicazione che possono essere identificati in apposite norme della serie ISO 14000.
La norma PAS 2050 dichiara apertamente che la valutazione della carbon footprint ha un approccio LCA thinking, lo studio, come nei casi delle LCA, può essere del tipo Cradle to grave o cradle to gate.

Nel campo di applicazione (scope) la PAS 2050 chiarisce che la norma valuta il Global warming potential e non fornisce alcuna indicazione sulle altre categorie di impatto ambientale, normalmente considerate negli studi di LCA, come l'acidificazione, la eutrofizzazione, la tossicità per l'uomo e così via; quindi la carbon footprint non fornisce un profilo completo dell'impatto ambientale di prodotto e questo, come già detto prima, può essere misleading.
Nella parte dei principi la PAS 2050 chiarisce che il tipo di LCA cui riferirsi è quella attributional, quindi valutando gli input e gli output associati ad una unità funzionale e trasformando tutti i gas serra con i rispettivi GWP di riferimento, GWP che sono riportati in appendice alla norma.
Naturalmente la valutazione della carbon footprint deve includere tutti i tipi gas serra, valutandone l'impatto su un orizzonte di 100 anni dopo la fabbricazione e tenendo conto di eventuali tempi superiore all'anno sia nella fase di fabbricazione, che di utilizzo o di smaltimento per introdurre dei fattori di pesatura
La norma cita quali sono le fonti di emissioni da prendere in considerazione, tra le quali troviamo, la combustione di prodotti ma anche le perdite di fluidi refrigeranti e di gas usati in apparecchiature elettromeccaniche, la destinazione d'uso del terreno, la frazione di carbonio accumulata in livestock, chiarendo che non deve essere contabilizzata la parte di CO_2 emessa da carbonio biogenico; queste puntualizzazioni sono utili sia nell'ambito della CF che della LCA.
Un altro importante chiarimento è identificabile nella sezione dedicata al Carbon sequestration o carbon storage e ai crediti che ne conseguono, in tal senso vengono forniti esempi puntuali di come valutare la sequestrazione di CO_2 in prodotti (non vivi) se gli stessi non sono destinati al consumo umano o animale, o se sono il risultato di attività umane o se il prodotto viene riutilizzato o riciclato.
Di notevole utilità è infine il riferimento al land use, prendendo come anno di riferimento il 1990 ovvero la stessa baseline utilizzata per le contabilizzazioni associate al protocollo di Kyoto; in merito al land use vengono forniti valori numerici della emissioni dovute al mancato assorbimento del terreno, in relazione alla precedente tipo di coltivazione (forest land o grassland) e fornendo i valori di emissioni in tCO2 eq/ha*yr. In merito vengono fornite anche precisazioni sui valori da prendere in considerazione nei casi dubbi sulla data di cambio d'uso del terreno mentre in appendice vengono forniti i valori di riferimento delle emissioni da considerare per diverse nazioni e per tipologia di terreno. Balza all'occhio come l'Italia non abbia fornito tali dati che sono invece disponibili per nazioni europee, incluse quelle dell'est, e di nazioni del mondo che, spesso, vengono considerate con sufficienza dagli Occidentali, come ad esempio il Pakistan, il Mozanbico, il Sud Africa.
Molteplici dettagli vengono forniti ancora sui confini del sistema, con riferimento alla eventuale esistenza di PCR (product category rules) che diventano mandatory o sulla necessità di una puntuale definizione degli stessi che devono includere almeno:

- il contributo di ogni materiale,
- le emissioni pregresse (anticipated) nelle fasi precedenti a quella che si realizza presso la organizzazione,
- l'obbligo di considerare almeno il 95% delle emissioni pregresse
- l'obbligo di considerare almeno il 95% delle emissioni associate alla fase di utilizzo,
- le emissioni della materia prima
- le emissioni dell'energia prodotta, acquistata, consumata in precedenza,
- le emissioni dovute alla fabbricazione e all'assistenza tecnica,
- le emissioni dovute ai materiali ausiliari,
- le emissioni per la fabbricazione di prototipi o per la sperimentazione in impianti pilota,
- le emissioni per le operations aziendali,
- le emissioni per ogni pertinente tipo di trasporto,
- le emissioni dovute allo stoccaggio, in particolare per prodotti refrigerati,

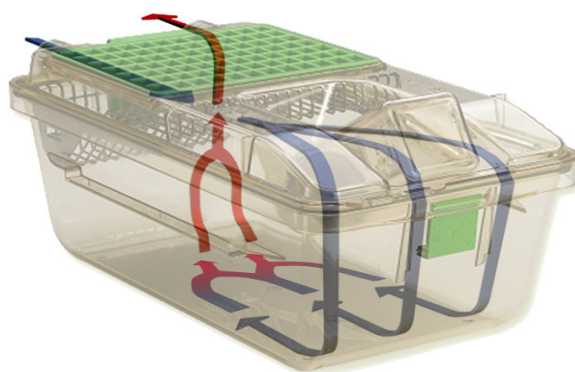
La PAS 2050 chiarisce che, al momento, non devono essere contabilizzate le emissioni di CO_2 necessarie alla fabbricazione dei capital goods, ma che in future revisioni queste emissioni potranno essere contabilizzate. A questa parte che è comune sia al BtoB che al cradle to gate segue la parte relativa alle valutazioni complete della carbon footprint considerando che nella fase di utilizzo del prodotto occorre considerare tutte le emissioni dovute all'utilizzo, alla manutenzione

e all'assistenza, tenendo conto di eventuali fattori di pesatura per i prodotti aventi una vita utile superiore ad 1 anno e anche i criteri gerarchici di impiego delle norme esistenti. Per la fase di disposal vengono forniti dettagli sulla contabilizzazione delle emissioni dovute allo smaltimento dei rifiuti in discarica o tramite il riciclo o l'incenerimento in particolare tenendo conto della possibile decomposizione dei rifiuti e dell'eventuale combustione del biogas che genera ancora CO_2.
Nel computo delle emissioni di gas serra vengono chiaramente escluse quelle associate:

- all'attività dell'uomo (es raccolta manuale o meccanizzata di prodotti agricoli),
- al trasporto dei lavoratori sui luoghi di lavoro,
- al trasporto dei consumatori nei punti di vendita,
- alla eventuale attività di animali usati per il trasporto.

Nella parte dei dati vengono fornite indicazioni certamente note ad esperti di LCA sulla qualità dei dati, su quelli primari e secondari, sull'energia per poi passare alla sezione del calcolo per la quale si possono usare software specialistici oppure predisporre adeguati fogli di calcolo.
Anche dal punto di vista grafico vengono forniti degli esempi utili per creare modelli adeguati ai processi da esaminare.

4. Un esempio di carbon footprint

Su richiesta di un'azienda produttrice di manufatti in plastica con la tecnica della iniezione a caldo (injection moulding) ho effettuato la valutazione della carbon footprint di un modello di gabbietta per animali da laboratorio, lo studio era finalizzato a conoscere tale dato per cercare, ove possibile, soluzioni migliorative ma anche per rispondere a nuove richieste di mercato. L'azienda che esporta in tutto il mondo ha ricevuto una esplicita richiesta in un tender anglosassone di fornire il dato della Carbon footprint appunto delle gabbiette per animali da laboratorio.
Tecnicamente le gabbiette sono realizzate per l'alloggiamento delle cavie che, nel periodo di vita devono essere alloggiate in modo confortevole e comunque in accordo alle prescrizioni della norma europea FELASA (12).
L'azienda che è attiva nel settore da diversi decenni, ha sviluppato un proprio know how e fa ricorso all'utilizzo di Polisulfone (PSU) che iniettato a caldo in appositi stampi realizza il prodotto finito con una piccola materozza di sfrido che viene rigranulata e mescolata con granuli freschi di PSU per essere impiegata nella produzione delle successive gabbiette. La gabbietta è sostanzialmente realizzata da tre componenti la base (o bacinella) il coperchio e la mangiatoia, quest'ultima realizzata in tondini di acciaio inox per evitare che le cavie possano "rodere" la plastica. Le principali caratteristiche del PSU sono la sua stabilità e resistenza all'umidità e al vapore, infatti nella fase di utilizzo, con frequenze settimanali le gabbiette sono sottoposte a cicli di lavaggio e di sterilizzazione per garantire un elevato standard abitativo alle cavie. Nel corso della ricerca l'azienda ha deciso di cambiare lo scopo dello studio per effettuare un confronto con gabbiette monouso (disposable) del tipo usa e getta e per valutare quale sia la soluzione ambientale migliore per gli utilizzatori (stabulari). Riorganizzato il lavoro e creando le supply chain process map si è organizzata la raccolta dati che, come sempre è la fase più impegnativa.
Per la gabbia in figura oltre i dati di produzione raccolti in azienda, i dati della fase di utilizzo sono state recuperati presso l'IEO (Istituto europeo di oncologia) e per questo considerati primari.

Per la gabbiette del tipo disposable sono stati presi alcuni campioni esaminati i materiali fatte le pesature ed effettuate misure presso una azienda fornitrice che realizza modelli equivalenti di gabbiette in PET. Laddove i dati di alcuni processi non erano certi si è escluso il dato, ad esempio la produzione delle gabbiette in PET richiede una successiva operazione di sterilizzazione che, per le caratteristiche del materiale, non può essere effettuata con vapore ma viene eseguita per irraggiamento. Le difficoltà nel reperire con certezza queste informazioni (tipo di sorgente radioattiva, radionuclide e dato di attività o quantità iniziale) e le energia associate ha portato ad escludere il dato a tutto vantaggio delle gabbiette monouso. Per quanto riguarda l'unità funzionale si è considerato l'utilizzo per un anno di una postazione per di alloggiamento degli animali, realizzata una volta con le gabbiette riutilizzabili e che prevedono cicli settimanali di lavaggio e sterilizzazione e dall'altra le gabbiette disposable che dopo una settimana di utilizzo vengono scartate e inviate al circuito dello smaltimento.
Nonostante le incompletezze summenzionate dal confronto emerge che la carbon footprint della gabbietta riutilizzabile è meno del 50% rispetto a quella della gabbietta in PET (monouso) e che nel caso delle reusable cage il maggiore contributo è dovuto alla operazione di sterilizzazione a vapore nella fase di utilizzo mentre per le disosable cages è la produzione e il consumo di PET ad assumere il maggior contributo.

IVC	Energy (MJ)	GWP (kg CO_2 eq)
disposable	2245	134
multiuse	983	66,4
mul/disp %	43,8%	49,5%

Sulla base dei risultati e alcune simulazioni realizzate con la sensitività analisys l'organizzazione ha avviato due modifiche, la prima per modificare un rack che serve per appendere fino le gabbiette da lavare e sterilizzare, infatti l'incremento nel numero delle gabbiette a parità di vapore consumato va a ridurre l'energia e la carbon footprint per ogni singola gabbietta. Una ulteriore iniziativa avviata dalla azienda è quella di avviare una operazione di recupero delle gabbiette in PSU per avviarle al recupero del materiale che, granulato, viene mescolato ai granuli freschi di PSU, peraltro questo progetto è stato esteso ad altre nazioni europee.
Lo studio di Carbon footprint (13) è in fase di revisione critica da parte di esperti americani, vista la strategia aziendale di penetrare maggiormente in quel mercato, dove è comunque conosciuta e ben affermata.
L'utilizzo di software specialistici di LCA e la PAS 2050 ha dato luogo a risultati equivalenti in termini di carbon footprint.

Riferimenti

1) IPCC 2008 "Climate Change 2007 IPCC Technical summery",
2) IPCC 2008 "Climate change and water – technical paper VI" F
3) FAST 2009 "L'energia nucleare nel mondo; e in Italia" presentazione dell'Ing. A. Clerici presidente FAST del 7 maggio 2009
4)P. Pietrogrande 2003 "Energia verde per un Paese 'rinnovabile'" F. Muzzio editore
5) V. D'Incognito "Guida allo sviluppo dei Sistemi di Gestione Ambientale"FrancoAngeli 2005
6) AA. VV "Codice dell'ambiente" UTET 2008, capitolo "lo sviluppo Eco-sostenibile" di V. D'Incognito
7) T. Wiedmann- J. Minx 2007 "A definition of carbon footprint" ISAUK Research Report 07-01
8) Wedeima, Thrane, Christensen 2008 "Carbon footprint- a catalyst for LCA? JIE n1 vol 12 – feb 2008
9) PAS 2050 2008 "specification for the assessment of the Life Cycle GHG emissions of goods and services" (PAS= Publicly Available Specification)
10) PAS 2050 guide line -2008 "How to assess the carbon footprint of goods and services"
11) Christiansen, Wesnaes, Wedeima 2006 "Consumer demands on type III environmental declaration" report ANEC,
12) FELASA "Euroguide on the accommodation and care of animals used for experimental and other scientific purposes" 2007
13) V. D'Incognito 2008 "Individually Ventilated Cages: single-use vs multiuse Carbon footprint and energy environmental performance".

LE ATTIVITA' DI ARPA SICILIA NEL SETTORE DELLA LCA

Michele Fiore (mfiore@arpa.sicilia.it) [1], Loredana Giaimo (giaimo@dream.unipa.it) [2]

[1] *Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente Sicilia,*
Corso Calatafimi, 217 - 90129 Palermo
[2] *Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali, Facoltà di Ingegneria*
dell'Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo

ABSTRACT
Nell'ambito dei compiti istituzionali di ARPA Sicilia (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Siciliana), parallelamente alle attività di monitoraggio e controllo dell'ambiente, da tempo è stato profuso un notevole impegno nelle attività di promozione e di ricerca sugli strumenti di gestione ambientale orientati allo sviluppo sostenibile. In tale ambito, ad esempio, grazie al lavoro svolto nella promozione del marchio Europeo Ecolabel per le strutture di ricettività turistica, ad oggi in regione undici strutture hanno ottenuto il riconoscimento europeo.

1. Introduzione
Per quanto concerne l'attività di ricerca sugli strumenti attuativi del concetto di sviluppo sostenibile, da circa due anni è stato attivato un progetto nel settore LCA, sviluppato in collaborazione con il Dottorato di Ricerca in "Fisica Tecnica Ambientale" dell'Università degli Studi di Palermo (Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali).
Tale progetto ha l'obiettivo di sviluppare l'Analisi del Ciclo di Vita di alcuni prodotti agroalimentari tipici del territorio siciliano, per verificare, in prima istanza, l'impatto ambientale generato dalle attività connesse alla loro produzione ed in seguito, a partire dai risultati ottenuti, elaborare alcuni criteri che possano "misurare" la qualità ambientale dei prodotti stessi.

2. Analisi del ciclo di vita nel settore agroalimentare
La scelta di puntare sul settore agroalimentare risulta quasi d'obbligo in un territorio, come quello siciliano, in cui tale settore è tra quelli trainanti l'economia regionale. Se si pensa, ad esempio, al settore vinicolo, in Sicilia ritroviamo infatti alcune tra le aziende più rilevanti sul mercato internazionale.
L'impegno dell'Agenzia in tal senso, è fortemente indirizzato a supportare la qualità del "prodotto alimentare" mediante una adeguata pianificazione e gestione del processo produttivo. Ciò in considerazione del fatto che la qualità dei prodotti alimentari è la risultante di un insieme di variabili (igienico-sanitarie, di salubrità, culturali, ambientali ecc.) fortemente interagenti e caratterizzanti il prodotto stesso. Il rispetto dell'ambiente, infatti, affianca sempre di più il concetto di "qualità agroalimentare" e di attenzione nei confronti dei consumatori.
Nel settore agroalimentare, inoltre, il rispetto del patrimonio ambientale acquista un significato ancor più profondo, poiché tale è il legame tra il prodotto ed il territorio nel quale nasce.
Nell'ambito del progetto, le attività sviluppate sino ad oggi sono molteplici e sintetizzabili nei quattro punti seguenti:

1. sviluppo di Linee Guida per l'applicazione della metodologia LCA al settore agroalimentare;
2. promozione della Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD nel settore agroalimentare (oleario e vinicolo);
3. attività di ricerca per la stesura di PCR (Product Category Rules) per l'olio d'oliva;
4. attività di ricerca per la definizione di un nuovo marchio di qualità ecologica (di tipo selettivo) per il settore vinicolo.

2.1 Sviluppo di Linee Guida per l'applicazione della metodologia LCA al settore agroalimentare

Per quel che riguarda questo punto, ARPA Sicilia partecipa ad un progetto sviluppato in collaborazione con l'LCA-lab di Bologna che vede il coinvolgimento di diversi soggetti (Università, Aziende, Agenzie per la Protezione dell'Ambiente ecc.). Tale progetto ha portato alla stesura di una Linea Guida dal titolo "L'analisi ambientale dei prodotti agro-alimentari con il metodo del Life Cycle Assessment", che sarà pubblicata a breve. Il documento, che rappresenta un'utile guida per i professionisti che vogliono applicare la metodologia LCA a prodotti agroalimentari, fornisce inoltre utili contributi relativamente alle modalità di raccolta dei dati ed ai diversi metodi di valutazione del danno. In tale ambito l'Agenzia si è occupata di predisporre la parte relativa alla metodologia di raccolta dati, riportando l'esempio relativo alla produzione di olio d'oliva da coltivazione intensiva, sviluppata attraverso la compilazione di un questionario realizzato ad hoc e facilmente adattabile a diverse realtà aziendali.

2.2 Promozione della Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD nel settore agroalimentare

Parallelamente all'attività appena descritta, è stato sviluppato uno studio rivolto alla promozione e sviluppo sul territorio regionale del marchio EPD (Environmental Product Declaration), etichettatura ambientale di tipo III definita dalla norma ISO 14025.
In particolare, l'attenzione dell'Agenzia è stata rivolta a due dei principali settori trainanti l'economia regionale, quello oleario e quello vinicolo. Nell'ambito dei progetti sviluppati, sono state contattate diverse aziende regionali, alle quali è stato proposta l'opportunità di sviluppare studi LCA su uno o più prodotti, al fine di ottenere la registrazione del marchio EPD.

2.3 Attività di ricerca per la stesura di PCR (Product Category Rules) per l'olio d'oliva

Per quel che riguarda il settore oleario, ad oggi non sono stati definiti a livello internazionale i Requisiti per la Categoria di Prodotto "olio d'oliva", necessari per lo sviluppo della LCA e la conseguente stesura della Dichiarazione Ambientale di Prodotto EPD; il primo obiettivo del progetto è, dunque, quello di giungere, in collaborazione con la 2B Consulenza Ambientale, alla stesura ed approvazione di PCR (Product Category Rules) per l'olio d'oliva e contempo-raneamente alla pre-certificazione EPD per i prodotti delle aziende che partecipano al progetto. Ad oggi è stato completato il primo studio LCA su un olio d'oliva prodotto da un'azienda del Comune di Castelbuono e si sta lavorando su una seconda azienda siciliana.
Numerose sono le problematiche, evidenziate dagli studi effettuati sinora, legate agli impatti generati dall'occupazione del suolo e dalla fertilizzazione, nonché quelle connesse all'allocazione nel caso di coprodotti (sansa, acqua di vegetazione, legno d'ulivo a fine vita).

2.4 Attività di ricerca per la definizione di un nuovo marchio di qualità ecologica (di tipo selettivo) per il settore vinicolo

Per quel che riguarda il settore vinicolo, infine, ARPA Sicilia ed l'Università di Palermo stanno portando avanti, in collaborazione con ASCA Sicilia (Analisi e Servizi per la Certificazione in Agricoltura) il progetto "Le foglie per l'ambiente", finalizzato a definire un marchio per i vini che integri qualità e rispetto per l'ambiente. Si tratterà di un marchio di tipo selettivo, che consenta, attraverso il rispetto di criteri specifici, di assegnare il marchio stesso solo ai prodotti che dimostrano effettivamente il rispetto di soglie minime di prestazione ambientale. È noto, infatti, che marchi come Ecolabel, anch'esso di tipo selettivo, non sono applicabili al settore agro-alimentare (Regolamento CE 1980/2000).
I requisiti ed i limiti da rispettare verranno definiti sulla base di studi LCA effettuati su diverse tipologie di vini prodotti nel territorio siciliano. A tal fine sono stati avviati, grazie alla collaborazione di ASCA Sicilia, contatti con diverse aziende vitivinicole, alcune delle quali hanno già aderito con entusiasmo al progetto ed avviato l'attività di raccolta dei dati, anche in questo caso attraverso la compilazione di un questionario appositamente realizzato. L'obiettivo ultimo è quello di portare in primo piano, a livello internazionale, i prodotti del territorio siciliano, rendendoli promotori dello sviluppo del concetto di qualità e rispetto ambientale nel settore agroalimentare.

APPROCCI QUANTITATIVI AL MIGLIORAMENTO DELLA SOSTENIBILITÀ DEI SERVIZI TURISTICI

Andrea Raggi[1], Luigi Bruzzi[2], Camillo De Camillis[1], Luigia Petti[1], Alessandro Bordin[3], Valentina Castellani[4], Roberto Luciani[5], Serenella Sala[4], Simona Verità[2], Johanna von der Weppen[2]

[1]Università "G. d'Annunzio", Pescara; [2]Università di Bologna; [3]Università di Padova; [4]Università di Milano-Bicocca; [5]ENEA, Roma

a.raggi@unich.it, luigi.bruzzi@unibo.it

ABSTRACT

I notevoli impatti generati sull'ambiente, così come la crescente importanza nell'economia mondiale e la stretta relazione con altre industrie (es: trasporti), hanno reso il turismo un settore critico dal punto di vista ambientale. Nel corso degli anni, per migliorarne le prestazioni ambientali, sono stati sviluppati numerosi approcci e strumenti più o meno specifici per il settore: dai sistemi di pianificazione e gestione territoriale a quelli di progettazione, gestione e certificazione aziendale, fino agli strumenti di comunicazione ambientale rivolti ai turisti.

In questo articolo vengono brevemente presentati, classificandoli in base agli stakeholder di riferimento, alcuni tra i principali strumenti di sostenibilità. Alcuni tra gli strumenti tecnici più innovativi e significativi vengono, poi, analizzati criticamente per definire le opportunità di integrazione e di miglioramento dell'efficacia derivante dall'adozione di un approccio di tipo LCA.

1. Introduzione

La crescente sensibilità nei confronti dell'ambiente quale ricchezza primaria per l'uomo sta spingendo le parti sociali a adottare una serie di misure a favore dello sviluppo sostenibile e duraturo.

Nel turismo il fenomeno è di particolare rilievo, in primo luogo per la stessa natura del settore, caratterizzato da un forte legame d'interdipendenza con l'ambiente. Se da un lato, infatti, l'ambiente rappresenta un elemento di attrazione per il turismo, dall'altro lato, l'ambiente stesso può essere anche compromesso dalle attività antropiche legate a questo settore ([1], [2], [3]). In secondo luogo, il turismo sta registrando negli ultimi anni una continua crescita [4] con forti ripercussioni economiche ed ambientali anche sulle industrie ad esso legate, in particolare quella dei trasporti.

Questo articolo, redatto sinergicamente dal gruppo di lavoro sui servizi turistici[7] della Rete Italiana LCA, ha come obiettivo quello di presentare brevemente i principali strumenti di sostenibilità ambientale che vengono normalmente adottati dai vari portatori d'interesse.

Alcuni tra gli strumenti tecnici più innovativi e di rilievo vengono, poi, analizzati criticamente per definire le opportunità di integrazione e di miglioramento dell'efficacia che potrebbero derivare dall'adozione di approcci oggettivi e quantitativi orientati al ciclo di vita.

2. Driver e strumenti per la sostenibilità ambientale del turismo

Ad oggi risultano numerosi gli strumenti ambientali adottati dai diversi portatori d'interesse in ambito turistico. I principali strumenti vengono illustrati in Tab. 1.

[7] Il particolare interesse dell'approccio seguito dal gruppo di lavoro e dei risultati finora ottenuti è attribuibile anche all'interdisciplinarietà dello stesso, legata alla varia provenienza scientifica dei suoi componenti. Questa caratteristica permette di affrontare il tema della sostenibilità ambientale del turismo con diverse tipologie di approccio e di punti di vista.

Portatori d'interesse	*Principali strumenti ambientali adottati*	*Principali finalità*
Amministrazioni pubbliche (comuni esclusi)	Legislazione settoriale e su aspetti ambientali	Indirizzare su base cogente i consumi e le attività pubbliche e private
	Indicatori ambientali nell'ambito della Valutazione Ambientale Strategica (VAS)	Integrare e valutare gli aspetti ambientali nei piani e programmi d'intervento territoriale
	Indicatori ambientali nell'ambito della Valutazione d'Impatto Ambientale (VIA)	Garantire che siano considerati nella progettazione gli effetti ambientali derivanti dalla realizzazione ed esercizio di opere ed interventi che, per la loro natura o dimensione, possano avere un impatto importante sull'ambiente
	Indicatori ambientali alla base di rapporti e studi di sostenibilità ambientale	Supportare l'elaborazione di politiche, piani e programmi territoriali e settoriali
Amministrazioni locali di destinazioni turistiche	Indicatori ambientali legati a procedure di VAS, VIA o di studi di sost. amb.	Si vedano le finalità espresse nei tre punti precedenti
	Regolamenti comunali	Definire modalità di esecuzione di attività di interesse comunale
	Agenda XXI locale	Processo partecipato finalizzato alla definizione e all'attuazione di un piano d'azione per la sostenibilità locale condiviso dall'intera comunità
	Carta Europea del Turismo sostenibile nelle aree protette	Processo partecipato finalizzato alla definizione di un piano d'azione per lo sviluppo turistico, con particolare riferimento alle sue relazioni con aree ad elevata vulnerabilità ambientale
	Bandiera Arancione	Gestire e certificare la qualità ambientale dei comuni dell'entroterra
	Bandiera Blu	Gestire e certificare la qualità ambientale di spiagge e porti turistici
Tour operator	Travelife	Gestire e migliorare la sostenibilità di tour operator agendo sui fornitori di servizi turistici
Strutture turistiche	Etichette ambientali	Valutare, certificare e comunicare le prestazioni ambientali di strutture turistiche
	LCA	Valutare e migliorare le prestazioni ambientali dei servizi turistici considerandone l'intero ciclo di vita
	EcoDesign	Supportare la ri/progettazione dei prodotti/servizi considerando anche le problematiche ambientali
	TourBench	Valutare e confrontare le prestazioni ambientali di strutture ricettive al fine di proporre miglioramenti ambientali ed economici
Turisti	EcoPassenger	Orientare le decisioni legate alla scelta dei mezzi di trasporto con valutazioni ambientali orientate al ciclo di vita
Vari portatori d'interesse	Sistemi di Gestione Ambientale	Gestire, migliorare e certificare da un punto di vista ambientale le organizzazioni
	Bilanci ambientali e di sostenibilità	Rendere trasparenti e confrontabili le prestazioni ambientali di un'organizzazione

Tab. 1 – Principali driver e strumenti per la sostenibilità ambientale del turismo

Escludendo dall'analisi gli strumenti legislativi, vista la loro peculiarità, dalla Tab. 1 emerge un largo utilizzo di schemi di certificazione ambientale. La significativa diffusione di alcuni di essi (ISO 14001:2004 ed EMAS, Ecolabel Europeo e Legambiente Turismo) viene evidenziata nel XVI Rapporto sul turismo italiano ([5]). Come riportato in Fig. 1, si contano, infatti, solo in Italia, quasi mille strutture ricettive[8] con certificazioni ambientali (soprattutto ISO 14001:2004 e Legambiente Turismo). Da un'analisi più approfondita sulle etichette ambientali [6], è emersa una loro notevole varietà ed eterogeneità, soprattutto per le strutture ricettive (esistono attualmente più di quaranta schemi). Questa eccessiva proliferazione di etichette incide profondamente sulla loro riconoscibilità da parte del turista. Infatti, sempre secondo Hamele et al.[6], sebbene alla maggioranza dei tedeschi siano note le certificazioni per i prodotti industriali, non più del 19% dei consumatori conosce, invece, le etichette di qualità ambientale nel turismo. Tra le certificazioni ambientali delle destinazioni turistiche, la Bandiera Blu, lo schema di certificazione ambientale più noto nel turismo [6], sta continuando a riscuotere un notevole successo anche quest'anno con 113 spiagge e 60 approdi certificati solo in Italia [7]. Anche la Bandiera Arancione, da considerarsi complementare alla Bandiera Blu, sta ottenendo risultati di prestigio avendo contato ben 160 località certificate al termine dello scorso anno [8].

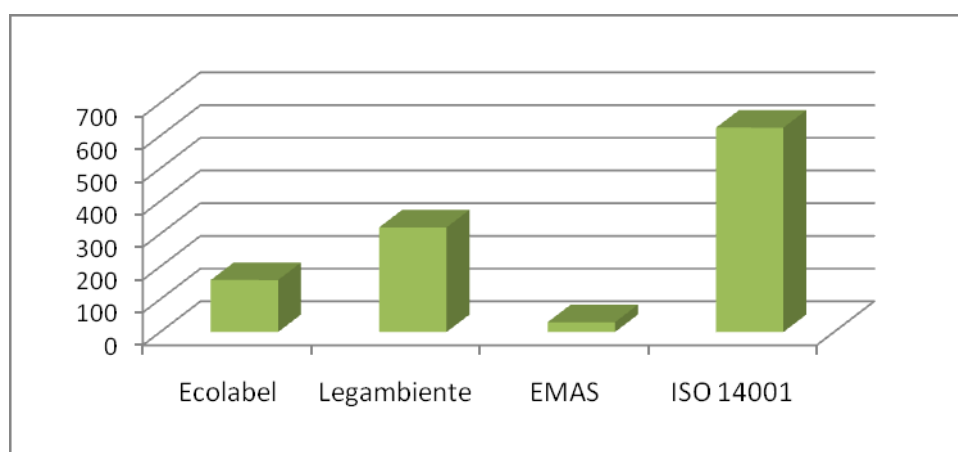



Fig. 1 – Certificazioni ambientali delle strutture turistiche (elaborazioni di gennaio 2009 su dati SINCERT (ISO 14001:2004), ISPRA (Emas e Ecolabel), Legambiente)

Dall'analisi della Tab. 1 emerge che gli indicatori ambientali sono uno strumento ambientale critico perché largamente utilizzato dalle amministrazioni pubbliche e con forti ripercussioni sul territorio. È doveroso considerare l'importanza di tali strumenti sia per le azioni di monitoraggio dell'ambiente e del sistema socio-economico ad esso correlato, sia ad integrazione di sistemi di supporto alle decisioni, sia per valutare nel tempo i risultati connessi a politiche ed interventi. Gli indicatori possono essere utilizzati nelle loro forme settoriali (indicatori delle singole componenti di un modello DPSIR, ad esempio) e/o in quelle aggregate (spesso utilizzate per comunicare e divulgare in maniera sintetica le performance di un territorio), quali ad esempio l'impronta ecologica o la capacità di carico, Questi ultimi indicatori, particolarmente diffusi grazie alla loro efficacia di comunicazione, verranno presentati e analizzati criticamente qui di seguito.

Nel panorama degli strumenti di gestione e certificazione ambientale nel turismo, verrà analizzato il sistema di gestione per la sostenibilità dei tour operator denominato *Travelife*. Questo strumento è ritenuto di particolare interesse dagli Autori perché già adotta un approccio orientato al ciclo di vita[9].

---

[8] I dati elaborati e presentati in Figura 1 sono disomogenei tra loro in quanto non si riferiscono alle sole strutture alberghiere ma comprendono anche strutture ricettive di altro tipo (campeggi, agriturismo, ecc.) ed altre organizzazioni come ristoranti e bar, questi ultimi con percentuali, comunque, molto contenute.

[9] Secondo quanto affermato da Tapper e Font [9], gli impatti di un tour operator derivano dalla somma degli impatti generati da tutti i servizi inclusi nei pacchetti turistici venduti al pubblico.

Inoltre, i tour operator potendo indirizzare la domanda turistica ed esercitando una notevole influenza sull'intera filiera turistica, in particolare sulle destinazioni e sui fornitori di servizi turistici [9], potrebbero farsi promotori della sostenibilità ambientale orientata al ciclo di vita tra i vari operatori della filiera. Verrà poi analizzato lo strumento *TourBench*, vista la sua particolare attitudine nel diffondere sistemi innovativi ambientali nelle strutture ricettive facendo percepire agli imprenditori anche i ritorni economici. Infine, verrà illustrato ed esaminato *EcoPassenger*, un originale e raro approccio a supporto delle decisioni del turista, anch'esso coerente con un approccio orientato al ciclo di vita. Sebbene si ritengano innovativi, si rimanda alla consultazione della bibliografia per l'analisi degli strumenti di ecodesign per servizi turistici ([3],[10]) e dei casi studio di LCA nel turismo ([11],[12]).

2.1. Impronta ecologica

Questa metodologia prevede, per ogni voce di ogni categoria di consumo considerata, il calcolo di tutte le risorse impiegate, nonché delle emissioni e dei rifiuti generati durante le fasi di produzione, consumo/utilizzo e smaltimento, sulla base di dati di letteratura ([13],[14]); tuttavia, come è facilmente intuibile, l'elaborazione di formule di calcolo basate su dati specifici per il settore turistico (e declinate per le diverse tipologie di consumo possibili), rappresenta un lavoro molto gravoso, che porta inevitabilmente ad alcune approssimazioni (si veda, a titolo di esempio Castellani, Sala, [15]).

2.2. Capacità di carico

Il concetto di capacità di carico è legato a quello di resilienza dei sistemi ecologici e nasce dalla necessità di misurare il carico massimo accettabile da parte dell'ambiente o di un determinato comparto ambientale in relazione agli ecosistemi in esso presenti. Ogni forma di utilizzo umano dell'ambiente naturale genera inevitabilmente dei cambiamenti nell'ambiente stesso; la valutazione della capacità di carico si pone come obiettivo la misura della soglia oltre la quale il cambiamento generato da un'attività o da un insieme di attività diventa inaccettabile.
L'Organizzazione Mondiale del Turismo definisce la capacità di carico turistica come "il massimo numero di persone che può visitare una destinazione turistica nello stesso momento, senza causare una distruzione dell'ambiente fisico, economico e socio-culturale e un peggioramento inaccettabile della soddisfazione dei visitatori riguardo alla qualità della visita" [16].
L'aspetto più critico relativo alla valutazione della capacità di carico per le destinazioni turistiche è la difficoltà di ottenere risultati quantitativi, definendo categorie di capacità di carico basate su valori numerici e non solo su valutazioni qualitative [17]. Il calcolo della capacità di carico per le destinazioni turistiche già oggetto di valutazione per quanto riguarda l'impronta ecologica del turismo permette di approfondire la valutazione della sostenibilità, considerando la situazione da due punti di vista speculari: la "domanda" di risorse naturali determinata dagli attuali modelli di consumo e la capacità dell'ambiente di sopportare le pressioni umane.
Rimangono, in questo ambito, alcuni aspetti di particolare criticità, tra i quali si segnalano: l'esistenza di aspetti per i quali è molto difficile definire una soglia quantitativa di impatto (ad esempio, la biodiversità); la necessità del metodo di calcolo di arrivare a definire un numero massimo di turisti, elemento quantitativo che nulla ci dice in relazione al comportamento di questi turisti ed alle loro modalità di consumo [18].

2.3. Carbon footprint

Si tratta di uno strumento che ha avuto recentemente una straordinaria diffusione, soprattutto in seguito alla crescente attenzione politica e dell'opinione pubblica nei confronti del problema ambientale del riscaldamento globale e, quindi, dell'emissione di gas climalteranti, e dell'emanazione di norme tecniche che ne hanno standardizzato la metodologia (PAS 2050:2008 – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services).

Non intendendo addentrarci in questa sede nel dibattito sulla definizione di *carbon footprint*, ci limiteremo ad osservare che, se intesa come la quantificazione delle emissioni dirette ed indirette di gas-serra legate alle varie fasi del ciclo di vita di un prodotto [19], trattasi di uno strumento che può essere assimilato alla LCA, seppure rappresentandone una applicazione parziale, dato che si focalizza solo sul riscaldamento globale, trascurando altre problematiche ambientali.
Poiché le emissioni inquinanti che contribuiscono maggiormente alla determinazione del *carbon footprint* sono legate alle attività energetiche (produzione e consumo di energia), diventa rilevante un'analisi del ruolo dei consumi energetici nel settore turistico. Le attività turistiche richiedono quantità apprezzabili di energia. Durante la permanenza nel luogo prescelto è necessaria energia per il condizionamento degli ambienti, la cottura dei cibi, la produzione di acqua calda per usi igienici, l'illuminazione, l'alimentazione di elettrodomestici ed apparecchiature ecc. Un altro tipo di consumo energetico riguarda il trasporto, sia relativo alla mobilità da/verso la destinazione turistica, sia per gli spostamenti durante il periodo di permanenza.
In base a dati del WTO [20] risulta che il turismo contribuisce per quasi il 5% alle emissioni mondiali antropiche di CO_2. Nell'ambito delle attività turistiche il contributo più rilevante deriva dai mezzi di trasporto, che incidono per il 75% sul totale delle emissioni di CO_2 del turismo (i trasporti aerei da soli contribuiscono per il 40%). Tali dati evidenziano l'importanza del risparmio energetico nelle attività turistiche, in special modo nell'uso del trasporto aereo e nella fase di permanenza nella località turistica [21].
Il consumo energetico specifico di una struttura alberghiera, ad esempio, può rappresentare un elemento critico nel calcolo del *carbon footprint*. Da un'indagine effettuata su tre hotel di Rimini di diversa tipologia e dimensione ([22], [21]), è emerso un range piuttosto ampio dei consumi energetici (da 100 a 3000 kWh per utente all'anno) permettendo di concludere che questi carichi ambientali dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'hotel. Tali risultati sono ulteriormente confortati da studi effettuati dalla WTO [20] che hanno stimato che il consumo di energia specifico dipende anche dal tipo di sistemazione scelta per la permanenza turistica, come è chiaramente illustrato nella Tab. 2 (i dati si riferiscono a permanenze turistiche nazionali nei Paesi sviluppati).
Per quanto concerne il consumo di energia per i trasporti, questo dipende da vari fattori, in particolare dal tipo di mezzo di trasporto impiegato e dalla distanza da coprire per raggiungere la destinazione turistica. Per stimare il contributo ai consumi energetici dovuto al trasferimento di un turista per andare e tornare dalla località turistica, nonché alla sua permanenza in tale località, si è effettuata una stima prendendo come riferimento la destinazione di Cervia, ipotizzando che il turista provenga da un luogo distante 1000 km e soggiorni nella destinazione turistica per un periodo di 7 giorni.

Tipo di sistemazione	**Consumo energia elettrica* per notte per turista (MJ)**	**Consumo energia termica* per notte per turista (MJ)**	**Combustibile Consumato (kg/n t)**	**Emissioni CO_2 (kg) per notte per turista**
Hotel	130	286	6,8	20,6
Campeggi	50	110	2,6	7,9
Pensioni	25	55	1,3	4
Residence	120	264	6,3	19
Villaggi	100	220	5,3	14,3
Case vacanze	90	198	4,7	15,9
Media	98	215,6	5,2	15,6
*L'energia consumata dalle strutture recettive è quasi tutta elettrica e quindi l'energia primaria corrispondente è pari a circa 2,2 volte l'energia elettrica				
N.B.: I valori dell'ultima colonna non tengono conto dell'energia risparmiata nella abitazione del turista				

Tab. 2 – Consumi medi di energia per diversi tipi di sistemazione [4]

Per quanto concerne il mezzo di trasporto sono state considerate tre opzioni: auto propria, treno o autobus ed aereo (Tab. 3; i dati relativi al consumo presso un hotel sono quelli precedentemente presentati in Tab. 2). Ciò mette in evidenza come la scelta del mezzo di trasporto[10] e dell'hotel siano di cruciale importanza per ridurre i consumi complessivi di una permanenza in una località turistica.

Tipo di trasporto	Aereo	Auto	Treno/bus	7 giorni permanenza hotel* (6 notti)
Consumo di combustibile/2000 km persona (kg)	80	20	4	
Consumo di combustibile per 7 giorni (kg)				40,8
Emissioni CO_2 (kg)	240	60	12	123,6
Fattore di conversione CO_2/combustibile = 3 *Dati WTO (tabella 2, hotel) N.B.: I combustibili considerati sono idrocarburi gassosi e liquidi				

Tab. 3 – Consumo di combustibile e produzione di CO_2/persona per una destinazione turistica posta a 1000 km dal luogo di partenza con una permanenza di 7 giorni

2.4. Travelife

Spinti dalla domanda del mercato, che mostra una crescente sensibilità dei turisti alle tematiche ambientali, e consapevoli del proprio ruolo all'interno della filiera turistica, alcuni tour operator, attraverso loro associazioni, si sono resi partecipi dal 2004 dello sviluppo di *Travelife*[11], un sistema di gestione per la sostenibilità, intesa in modo olistico (sostenibilità socio-economico-ambientale).
Molti requisiti del sistema sembrano essere ispirati a quelli dei sistemi di gestione maggiormente diffusi a livello mondiale (es: ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 ecc.). Infatti, tra questi possiamo trovare, per esempio, la politica per la sostenibilità, la nomina di un responsabile, la definizione di un piano di miglioramento, l'audit interno e il riesame della direzione. Requisito che caratterizza il sistema *Travelife* è la gestione della filiera attraverso la qualificazione dei fornitori di servizi turistici, intesi come: strutture ricettive, trasporti locali, bar e ristoranti, agenzie di organizzazione di escursioni e altre attività turistiche nella destinazione. Per la qualificazione dei fornitori è prevista una procedura che permette di valutare e classificare la sostenibilità dei fornitori in tre categorie: oro, argento e bronzo. L'assegnazione del marchio *Travelife*, che viene riportato sui cataloghi dei tour operator in corrispondenza dei fornitori qualificati, si basa su audit di terza parte condotti sui requisiti di sostenibilità a cui le organizzazioni hanno dichiarato di ottemperare. A tali requisiti, riportati in specifiche checklist preparate per ciascuna tipologia di fornitore dal sistema *Travelife*, è associato un punteggio. Dalla somma dei punteggi ottenuti deriva la classificazione dei fornitori nelle categorie summenzionate.
Travelife si sta diffondendo sempre più tra i maggiori tour operator mondiali: basti pensare che TUI, Thomas Cook, Kuoni, First Choice, Virgin Holidays, Cosmos sono solo alcuni tra i principali operatori che hanno finora aderito al sistema.
Analizzando i risultati finora raggiunti da *Travelife*, è lecito pensare che il suo successo derivi principalmente dai seguenti fattori:

[10] Per la quantificazione di una gamma più ampia di emissioni inquinanti legate a varie tipologie di mezzi di trasporto, si veda anche lo strumento EcoPassenger, descritto in un paragrafo successivo
[11] Travelife rappresenta un importante risultato ottenuto da Tour-LinK, un progetto co-finanziato nel 2004 dall'Unione Europea nell'ambito del programma LIFE ambiente [34].

- attinenza al settore. Il sistema, pensato dai tour operator ed indirizzato ai tour operator stessi e ai loro fornitori, sembra aver colto appieno le peculiarità del settore;
- semplicità d'implementazione da parte dei fornitori di servizi turistici. L'approccio adottato per definire i requisiti della checklist è molto pratico; s'indagano, infatti, le modalità di gestione organizzativa in termini qualitativi (es: adozione di rubinetteria per il risparmio idrico) e non prestazionali;
- semplicità di lettura dei marchi da parte dei turisti. La classificazione in tre categorie permette ai turisti non solo di identificare chiaramente e in maniera sintetica la sostenibilità dei servizi turistici, ma anche di effettuare gli opportuni confronti per la scelta dei componenti del pacchetto vacanza.

2.5. TourBench

TourBench è un'iniziativa europea di monitoraggio e benchmarking volta a supportare le attività ricettive nella riduzione dei costi ambientali[23]. Più nello specifico, è uno strumento, disponibile gratuitamente on-line (www.tourbench.info), che consente alle singole organizzazioni ricettive di autovalutarsi rispetto alle problematiche ambientali e di porre in essere azioni di miglioramento considerando anche il ritorno dell'investimento[24]. In particolare, dopo essersi registrate nel sito-web, le strutture ricettive possono semplicemente determinare le proprie prestazioni ambientali sulla base dei dati immessi nel sistema[12]. I punti di forza e le criticità ambientali di ciascuna struttura vengono, poi, evidenziati confrontando le proprie prestazioni ambientali con quelle medie di organizzazioni simili dello stesso Paese o, in alternativa, considerando come riferimento geografico l'intera Europa. *TourBench* fornisce, infine, delle informazioni per determinare gli investimenti in azioni che possano migliorare le prestazioni economiche ed ambientali.

2.6. EcoPassenger

I servizi di trasporto, riconosciuti tra le aree di consumo a maggiore impatto ambientale nell'Unione Europea [25], sono alla base dell'economia mondiale per il loro ruolo nella movimentazione di merci e persone; tali servizi rappresentano una componente essenziale anche nell'ambito delle attività turistiche.
Al fine di informare e responsabilizzare gli utenti, anche potenziali, del trasporto pubblico sugli impatti ambientali legati alle quotidiane decisioni sulla mobilità, l'IFEU, un noto istituto di ricerca tedesco che si occupa di ambiente ed energia, e la IVEmbH, una software house, hanno di recente realizzato il progetto *EcoPassenger* [26] su commissione dell'International Union of Railways (UIC).
EcoPassenger (www.ecopassenger.com) è uno strumento accessibile gratuitamente on-line che consente di calcolare la durata e l'impatto sull'ambiente di qualsiasi viaggio effettuato in auto, treno o aereo in Europa. Basandosi sull'LCA, tali mezzi di trasporto vengono messi a confronto in termini di consumi energetici ed emissioni di CO_2, polveri sottili, NO_x e idrocarburi non metanici[13].
In particolare, i carichi ambientali relativi al singolo viaggio vengono calcolati come segue. Una volta immessi l'orario e il giorno di partenza, la località di partenza e quella di destinazione, lo strumento calcola automaticamente l'itinerario ottimale per ciascun mezzo di trasporto che viene poi mostrato su una mappa. Per ciascuno dei tre itinerari, uno per ogni per mezzo di trasporto, viene calcolata la distanza in chilometri, considerando anche itinerari combinati (ad es.: auto+aereo).

---

[12] I dati richiesti dal sistema *TourBench* si riferiscono, per esempio, alla produzione di rifiuti e ai consumi e costi di: energia, acqua e sostanze chimiche [23]. Anche sulla base dei dati inseriti dalle organizzazioni che hanno aderito a *TourBench*, sono stati pubblicati degli indicatori ambientali per le strutture ricettive [35].
[13] Sono stati selezionati questi inquinanti dagli autori di *EcoPassenger* perchè ritenuti i carichi ambientali critici per misurare le seguenti categorie d'impatto ambientale: surriscaldamento globale del pianeta, acidificazione, eutrofizzazione, ecotossicità, tossicità umana e smog estivo [26].

Sulla base dei dati di LCA contenuti nel database di EcoPassenger[14] vengono poi calcolate le conseguenze ambientali legate all'utilizzo di ciascuno dei tre mezzi di trasporto moltiplicando la distanza chilometrica per il flusso di riferimento rappresentato dall'unità: "una persona trasportata per chilometro". In base al numero di persone che parteciperanno al viaggio e alle tipologie di mezzi che si utilizzeranno, gli utenti possono modificare semplicemente il parametro del "carico medio tipico" ipotizzando, per esempio, per il tragitto da A a B un auto EURO 3 o un treno a carico completo.

3. Discussione

Nella spiccata varietà e molteplicità di strumenti ed approcci che si sono venuti sviluppando e diffondendo in risposta alla crescente percezione del ruolo e del peso ambientale del turismo, si possono rilevare, in qualche caso, alcune peculiarità, quali un approccio marcatamente qualitativo o la prevalenza di singoli aspetti ambientali, che rischiano di limitare l'efficacia degli strumenti stessi; in tali casi può essere utile l'integrazione con approcci più quantitativi ed olistici, quali l'LCA.

I processi di pianificazione territoriale richiedono il supporto di strumenti in grado di effettuare una valutazione delle ricadute a lungo termine delle linee strategiche adottate. In tale contesto, l'applicazione della valutazione del ciclo di vita a componenti significativi del sistema turismo potrebbe essere utilizzata nella definizione di indicatori ambientali che possano essere integrati con altri indicatori di sostenibilità per poter meglio indirizzare le decisioni degli amministratori locali verso politiche di sviluppo turistico volte ad una maggiore sostenibilità a lungo termine [27]. Nella pianificazione delle destinazioni turistiche, infatti, la scelta delle modalità di sviluppo (come ad esempio il livello di urbanizzazione del territorio, il tipo di struttura alberghiera prevalente, le infrastrutture per i servizi e il trasporto presenti), influisce sulla possibilità, da parte dei turisti, di effettuare scelte di consumo più o meno sostenibili: ad esempio, se i posti letto disponibili in strutture a minore impatto, come bed&breakfast e agriturismo, sono limitati, il numero di turisti che alloggiano in strutture più impattanti, sarà necessariamente superiore; allo stesso modo, se il sistema dei trasporti pubblici locale non è efficiente, oppure se la destinazione non è facilmente raggiungibile tramite il treno o il pullman, difficilmente i turisti saranno disposti a rinunciare all'auto per la propria mobilità. Ad esempio, l'integrazione delle valutazioni del ciclo di vita nel calcolo dell'impronta ecologica del turismo, che rappresenta uno strumento di comunicazione efficace ed immediato, permette di ottenere informazioni approfondite (ed eventualmente anche specifiche per la realtà locale) e risultati facilmente interpretabili da parte di soggetti che ricoprono ruoli anche molto diversi. Per questo motivo, la definizione di studi di LCA che permettano di valutare gli impatti di diverse scelte di consumo in vari ambiti del settore turistico rappresenta una valida integrazione al modello esistente, con la possibilità di utilizzare dati derivanti da studi più approfonditi, ed eventualmente adattati a livello locale.

L'esistenza di aspetti di complementarietà può essere individuata anche tra l'approccio della capacità di carico e l'LCA; la prima, ad esempio, si concentra su si un determinato territorio, e quindi sugli impatti locali, sui quali l'LCA convenzionale è notoriamente carente (esigenza di regionalizzazione dei metodi di valutazione inclusi nell'LCA); d'altro canto, l'approccio quantitativo dell'LCA può contribuire a superare la prevalenza di valutazioni qualitative dovute al difficile reperimento di dati [28].

Diverso è il caso del carbon footprint; sebbene assimilabile ad un approccio di ciclo di vita, questo indicatore valuta esclusivamente gli impatti sul riscaldamento globale. Quindi, se l'indicatore fosse utilizzato come unico strumento a supporto delle decisioni ambientali, si trascurerebbero gli effetti che tali decisioni avrebbero su altre categorie d'impatto ambientale, rischiando quindi di trasferire i carichi ambientali dal riscaldamento globale ad altre problematiche ambientali.

Pertanto, è opportuno effettuare valutazioni considerando allo stesso tempo tutte le categorie d'impatto ambientale, e ciò può essere assicurato solo implementando LCA complete [29].

---

[14] Per ulteriori informazioni sulla metodologia, si consiglia di consultare il rapporto finale di *EcoPassenger* [26]. Il dati di LCA su cui si basa lo strumento sono stati di recente pubblicati nella libreria gratuita del progetto ProBas accessibile al sito-web www.probas.umweltbundesamt.de.

Venendo agli strumenti di recente sviluppo rivolti agli operatori, anch'essi potrebbero beneficiare dell'integrazione con approcci quantitativi in un'ottica di filiera. Per quanto riguarda l'efficacia del sistema di gestione *Travelife* da un punto di vista ambientale, infatti, riteniamo che lo strumento possa essere migliorato. Alla luce dei risultati ottenuti in alcuni casi studio di LCA ([30], [31], [11]) si potrebbe, per esempio, ampliare il campo d'applicazione ai fornitori di servizi di trasporto destinati a raggiungere la destinazione e a farne ritorno. Inoltre, l'LCA potrebbe essere utilizzata per l'identificazione delle criticità ambientali per ciascuna categoria omogenea di fornitori e per poter così meglio definire i punteggi associati a ciascun criterio ambientale contenuto nelle checklist, riducendone il grado di soggettività. Infine, alcuni criteri — per esempio la preferibilità dei fornitori locali di alimenti per l'approvvigionamento di ristoranti e strutture ricettive — potrebbero essere, se del caso, corretti in base alle conoscenze conseguite nel campo dell'LCA[15].

Il sistema *TourBench* è particolarmente interessante perché permette di far percepire agli imprenditori turistici che un miglioramento ambientale è spesso legato ad un ritorno economico, anche se nel medio o lungo termine. La LCA potrebbe migliorare l'efficacia ambientale di *TourBench* integrando la logica *life cycle* nelle fasi di raccolta dati, valutazione degli impatti ambientali e comparazione ambientale degli interventi di miglioramento.

Per quanto concerne *EcoPassenger*, strumento già chiaramente strutturato secondo una logica di tipo LCA, se ne potrebbe migliorare l'efficacia ambientale estendendo il suo campo d'applicazione ad altri mezzi di trasporto (es: autobus, nave, moto) e a quelli a breve percorrenza, come autobus urbani, tram, metropolitana, ciclomotori e biciclette. Inoltre, potrebbe efficacemente supportare una pianificazione ambientalmente sostenibile della vacanza se il turista decidesse di combinare il ricorso a tale strumento con altre decisioni ambientalmente responsabili, come quella della scelta di strutture e località certificate da un punto di vista ambientale, meglio se con approcci integrati.

Oltre ai driver menzionati in Tab. 1, anche gli enti di promozione turistica nazionali e regionali potrebbero avere un ruolo significativo sulla sostenibilità ambientale del turismo. Infatti, con il supporto dell'LCA si potrebbero integrare le attuali politiche di posizionamento del turismo sui mercati internazionali con elementi di valutazione ambientale [32]. Attraverso studi di LCA comparativa sul ciclo di vita delle vacanze si potrebbero confrontare molteplici modalità di trasporto e di consumo dei turisti, così da far concentrare gli sforzi delle attività promozionali su quei segmenti che risultino maggiormente sostenibili per il turismo incoming in un'ottica di ciclo di vita [32].

4. Conclusioni

Tutti gli strumenti citati in questo lavoro fungono da supporto alle decisioni dei policy maker, degli operatori turistici e dei consumatori, riconosciuti come driver chiave per indirizzare il settore verso la sostenibilità ambientale.

Dall'analisi degli strumenti sono emersi numerosi elementi di ridondanza (es: nelle certificazioni ambientali delle strutture ricettive), ma anche qualche incoraggiante segnale di complementarietà (es: Bandiera Blu e Bandiera Arancione).

In sintesi, è emerso che l'LCA può rappresentare un'utile metodologia sia per migliorare alcuni dei summenzionati strumenti, ma anche per valutarne in maniera comparativa l'efficacia per taluni apparentemente succedanei [33], quali per esempio le molteplici etichette ambientali.

Vista l'ampia gamma degli approcci sarebbe, inoltre, opportuno effettuare delle integrazioni tra questi strumenti al fine di facilitarne la fruizione ai portatori d'interesse che li adottano e a quelli che ne usufruiscono.

[15] Non è sempre vero, infatti, che i fornitori locali di alimenti siano preferibili ad altri che necessitano un trasporto maggiore, dato che le pratiche agricole (si pensi, per esempio, al sistema biologico rispetto a quello convenzionale con alto utilizzo di antiparassitari e diserbanti) potrebbero essere assai diverse.

Per esempio, l'adozione di un approccio integrato tra certificazione di sistema e certificazione di prodotto ambientale, porterebbe sia dei vantaggi alle organizzazioni in termini di gestione, ma ne gioverebbe anche la riconoscibilità degli strumenti da parte dei turisti. La suddivisione ed integrazione degli strumenti per classi omogenee di finalità potrebbe essere, quindi, una strategia efficace per raggiungere tali obiettivi.
Un chiaro impegno nelle direzioni indicate (complementarietà, standardizzazione ed integrazione) dovrebbero imprimerlo, in primo luogo, gli enti di ricerca e le università, attraverso studi sulla complementarietà e l'integrazione, in secondo luogo gli enti di normazione, attraverso l'emanazione di standard riconosciuti, ed infine le amministrazioni nazionali e sovranazionali nel regolamentare l'utilizzo di tali strumenti.

Bibliografia

[1] Bordin, A 2003, 'Turismo e Ambiente: le interrelazioni tra turismo e ambiente', De Qualitate, 3, pp. 46-52.

[2] Bruzzi, L, Boragno, V, & Verità, S 2008, 'Analisi del ciclo di vita e pianificazione del territorio, fattori di successo per il miglioramento della sostenibilità del turismo costiero', Proc. "Ecomondo 2008", Rimini, 5-8 Nov., 501-06.

[3] Raggi, A & Petti, L 2006, 'A newly developed integrated environment-quality approach for the design of hotel services', Progress in Industrial Ecology – An International Journal, Vol. 3, no. 3, pp. 251-71.

[4] UNWTO 2008, Tourism Market Trends, 2007 Edition – World Overview, United Nations World Tourism Organization, Madrid.

[5] AAVV, 2009, XVI Rapporto sul turismo italiano, Mercury, Firenze (in pubblicazione).

[6] Hamele, H et al. 2004, The VISIT Initiative: tourism eco-labelling in Europe – moving the market towards sustainability, ECOTRANS, Saarbrücken.

[7] FEE 2009, Bandiera Blu 2009, Foundation for Environmental Education, Rome.

[8] TCI 2008, Le Bandiere arancioni: località dell'entroterra selezionate e certificate dal Touring, Touring Club Italiano, Milano.

[9] Tapper, R & Font, X 2004, Tourism supply chains. Report of a desk research project for The Travel Foundation, Leeds.

[10] De Camillis, C, Raggi, A & Petti, L 2005, Coniugare qualità e sostenibilità ambientale nella progettazione dei servizi: proposta di un nuovo modello basato sul QFD, Aracne Editrice, Roma.

[11] De Camillis, C, Raggi, A & Petti, L 2008, 'LCA and the hospitality industry: an Italian case-study', International Congress on Sustainable tourism as a factor of local development, Monza, 7-9 Nov.

[12] Raggi A., Petti L., De Camillis C., Bordin A. and T. Boatto (2008) LCA dei prodotti turistici: stato dell'arte e prospettive, Atti del 2° Workshop della Rete Italiana LCA "Sviluppi dell'LCA in Italia: percorsi a confronto", ENEA, Roma, pp. 63-76

[13] Monfreda, C, Wackernagel, M & Deumling, D 2004, 'Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological footprint and biological capacity accounts', Land Use Policy, 21, pp. 231–46.

[14] Wackernagel, M & Rees WE 1998, Our Ecological Footprint: reducing human impact on the Earth, New Society Publishers, Gabriola Island, Canada.

[15] Castellani, V & Sala, S 2008, 'Ecological Footprint: a way to assess impact of tourists' choices at local scale', Proceedings of Sustainable Tourism 2008, Malta, 3-5 Sept.

[16] UNWTO 1999, 'Global code of ethics for tourism', Proc. of Thirteenth session of General Assembly, Santiago, Chile.

[17] Manning, RE 2002, 'How much is too much? Carrying capacity of national parks and protected areas', Proceedings of the Conference on Monitoring and management of visitor flows in recreational and protected areas, Bodenkultur University, Vienna, Austria, 30 Jan.-2 Feb., pp. 306–13.

[18] Sala, S, Castellani, V & Pitea, D 2007, 'A new method for tourism carrying capacity assessment', Ecosystems and Sustainable Development VI, Proceedings ECOSUD 6th International Conference on Ecosystems and Sustainable Development, Coimbra, Portugal, 5-7 Sept., vol 106, pp. 365-374, Wit Press.

[19] Carbon Trust 2007, Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1, 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK.

[20] UNWTO, UNEP, WPO 2008, Climate Change and Tourism – Responding to Global Challenges, UNWTO publications, Madrid, Spagna.

[21] Bruzzi, L, Verità, S, & von der Weppen, J 2008, 'Sustainable coastal tourism – the role of energy efficiency and renewable resources', International Congress on Sustainable tourism as a factor of local development, Monza, 7-9 Nov.

[22] Cer Energie, 2007, 'I risultati dell'Audit Energetico su strutture ricettive campione', Progetto BELIEF, Newsletter n. 2, pp. 3-4,
www.riminiambiente.it/binary/rimini_ambiente/efficienza_energetica/BELIEF_RN_newsletter2.1189588093.pdf

[23] Van Der Burghs, R 2003, European Monitor and Benchmarking Initiative for Environmental Impacts and Costs in Tourist Accommodation, LIFE03 ENV/NL/000473.

[24] Hamele, H & van der Burgh, R 2006, TourBench: monitoring and benchmarking of environmental consumption and cost in tourist accommodation services, ECOTRANS, Saarbrücken: – Syncera, Delft.

[25] Tukker, A et al. 2006, Environmental Impact of Products (EIPRO) Analysis of the life cycle environmental impacts related to the final consumption of the EU-25, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Seville.

[26] Knörr, W 2008, EcoPassenger: Environmental Methodology and Data, IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg.

[27] Bimonte, S & Punzo, F 2005, A proposito di capacità di carico turistica. Una breve analisi teorica. EdATS Working Papers Series 4.

[28] Sala, S & Castellani, V 2009, 'A proposal for integration between Life Cycle Assessment and other instruments and indicators as a way to promote Sustainable Production and Consumption strategies'. Proceedings of 15th LCA Case Studies Symposium, Paris, 22-23 Jan.

[29] JRC, 2007, Carbon footprint – what it is and how to measure it, Newsletter speciale dell'European Platform on LCA, JRC European Commission, Ispra, Italia, 8 Nov. 2007.

[30] Chambers, T 2004, 'Environmental Assessment of a mass tourism package holiday and a responsible tourism package holiday, using Life Cycle Assessment and Ecological Footprint Analysis', Master Thesis, University of East Anglia.

[31] Corsico, S 2007, 'Adattamento della metodologia LCA all'analisi e valutazione degli impatti generati dal turismo: un caso di studio', Tesi di laurea, Università degli Studi Milano-Bicocca.

[32] De Camillis, C, Peeters, P 2008, "Prospettive dell'LCA per gli enti di promozione turistica", comunicazione personale.

[33] De Camillis, C, Petti, L & Raggi A 2008b, 'LCA: a key-tool for Sustainable Tourism?', Proceedings of the 8th International Conference on EcoBalance, Tokyo, Japan, 8-10 Dec., pp. 485-88.

[34] Kusters, N 2004, Demonstrating how an integrated ecolabeling and tour operating supply chain management strategy can foster sustainability in tourism, LIFE04 ENV/NL/000661.

[35] Hamele, H & Eckardt, S 2007, Environmental initiatives by European tourism businesses: instruments, indicators and practical examples, ECOTRANS, Saarbrücken – IER, Universität Stuttgart, Stuttgart.

ANALISI DEL CICLO DI VITA DELLA PASTA A MARCHIO BARILLA

Luca Ruini (l.ruini@barilla.it)[1], Massimo Marino (marino@studiolce.it)[2]

[1] *Barilla G. e R. Fratelli, Società per Azioni* [2] *Life Cycle Engineering*

ABSTRACT

Tra le molte azioni compiute da Barilla nel settore della sostenibilità, la costante applicazione della metodologia dell'analisi del ciclo di vita allo studio delle proprie filiere di produzione, ha portato a maturare una conoscenza via via più approfondita degli impatti ambientali complessivi.
Uno dei prodotti oggetto di questi approfondimenti è la pasta a marchio Barilla confezionata in cartoncino, il tradizionale blue box, il cui sistema è stato studiato a partire dalla coltivazione del grano duro fino alla distribuzione alle piattaforme Barilla passando dalle varie fasi della filiera. Oltre ai tradizionali indicatori ambientali di una LCA, è fornita una stima dei valori espressi dagli indicatori di Ecological e Water Footprint.
Gli impatti per le fasi successive, legate alla cottura della pasta e allo smaltimento del packaging primario sono strettamente connesse al comportamento del consumatore e pertanto soggette ad una maggiore variabilità; per tale ragione, sono state stimate ipotizzando le condizioni ideali di impiego e di smaltimento.
Con questo lavoro Barilla intende, oltre ovviamente ad accrescere la consapevolezza sui propri processi, contribuire alla ricerca sugli impatti ambientali del settore agroalimentare anche procedendo entro la prima metà del 2009 alla pubblicazione della prima dichiarazione ambientale di prodotto EPD™ riferita alla pasta di semola.

1. Introduzione

L'azienda Barilla nasce nel 1877 da una bottega di pane a pasta aperta nel centro di Parma da Pietro Barilla. In oltre 130 anni, eventi, persone, successi hanno trasformato la bottega di allora in uno dei primi gruppi alimentari italiani ed europei, leader nella produzione della pasta nel mondo.
Da allora l'evoluzione è stata sempre guidata, ad eccezione di un periodo tra il 1971 e il 1979, da un passaggio generazionale interno alla famiglia fino all'attuale gestione governata dai fratelli Guido, Luca e Paolo.
Ad oggi l'azienda conta nel mondo 54 siti produttivi in 11 paesi e una produzione di quasi 3 milioni di tonnellate di prodotti all'anno. La vendita di tali prodotti avviene in 150 paesi del mondo, con differenti marchi[16] per i due settori business del gruppo: "primo piatto"(pasta e sughi) e "prodotti da forno". Barilla impiega complessivamente circa 18.000 dipendenti e produce un fatturato che, nel 2008, è stato pari a circa 4,5 miliardi di euro.
Sensibile alle tematiche ambientali, Barilla ha sviluppato negli anni diverse iniziative in grado di consentire un efficiente impiego della risorsa energia, in accordo al Protocollo di Kyoto. Grazie a tali attività, durante il periodo 2003-2007, è stata registrata una diminuzione del consumo di energia dell'8% a fronte di un aumento della produzione industriale del 14%.
Ha inoltre condotto tutti gli stabilimenti italiani all'adozione di un sistema razionale di gestione ambientale, mediante la certificazione ISO 14001.
A partire dai primi anni del 2000, Barilla ha scelto, inoltre, di adottare l'approccio *life cycle thinking* per la gestione delle questioni ambientali generati dai propri processi e prodotti. Tale approccio prevede la valutazione di tutte le fasi del ciclo di vita, in una visione di insieme dell'intera filiera.
L'attuazione di tale orientamento è diventato per Barilla uno strumento strategico per operare le più rilevanti scelte aziendali in un'ottica di miglioramento.
In questo lavoro sono presentate le ipotesi adottate e i risultati relativi all'analisi del ciclo di vita della pasta di semola a marchio Barilla.

[16] I marchi in possesso di Barilla sono circa una ventina. Tra i più rinomati si possono ricordare Voiello, Pavesi, Mulino Bianco, Wasa, Harry's ecc.

2. Life Cycle Assessment della pasta a marchio Barilla

Oggetto di questo studio è la pasta di semola a marchio Barilla, marchio storico del Gruppo, confezionata in astucci di cartoncino (*blue box*).
La gamma di prodotti di pasta comprende diverse tipologie, pasta lunga, pasta corta e pasta all'uovo, nei differenti formati *classici* e *speciali.*
Ai fini dello studio, è stata considerata la pasta di semola di un formato medio confezionata in una scatola di cartoncino da 500 g.

2.1 Metodologia

La metodologia utilizzata per il calcolo è quella dell'Analisi del Ciclo di Vita (LCA – *Life Cycle Assessment*) che, regolata dagli standard internazionali ISO Serie 14040, permette di determinare gli impatti ambientali in termini di consumo di risorse e rilasci verso l'ambiente di un prodotto o servizio lungo il ciclo di vita ("from cradle to grave"). Nel caso specifico, l'analisi LCA è stata sviluppata raccogliendo dati ed informazioni provenienti direttamente dagli stabilimenti di produzione della pasta, ma anche con il supporto di banche dati specifiche.
Per lo studio sono stati presi in considerazione anche i requisiti del sistema internazionale EPD™ in modo da poter estrapolare una dichiarazione ambientale conforme e certificabile secondo tali regole.
I dati sono relativi alla produzione 2008.

2.2 Confini del sistema analizzato

Per quanto riguarda le materie prime alimentari, il sistema oggetto dello studio è stato valutato a partire dalla coltivazione del grano duro comprendendo i trasporti, la macinazione ed il trasporto agli stabilimenti di produzione. Per la parte di imballaggi è stata considerata la filiera di produzione del cartoncino (in parte vergine ed in parte riciclato) oltre che quella di produzione degli imballi secondari (scatole di cartone e film di polietilene).
Per la produzione della pasta sono stati considerati, e mediati in base alla produzione annua, i tre stabilimenti italiani di Foggia, Caserta e Parma realmente coinvolti nella produzione.
Le fasi successive, legate alla cottura della pasta e allo smaltimento del packaging primario, sono strettamente connesse al comportamento del consumatore e pertanto soggette ad una maggiore variabilità. Per tale ragione, gli impatti per tali fasi sono stati stimati ipotizzando le raccomandazioni di cottura suggerite da Barilla (in termini di quantità di acqua) e le condizioni medie di smaltimento, sul territorio italiano, dell'astuccio di cartoncino. In particolare le ipotesi adottate per la fase di cottura sono le seguenti:

- uso di 7 MJ di gas naturale per ½ kg di pasta;
- uso di 5 litri di acqua per ½ kg di pasta.

Per quanto riguarda lo smaltimento del packaging primario, costituito dall'astuccio in cartoncino *Blue box*, l'impatto è stato stimato considerando lo scenario medio di destinazione di un rifiuto a base carta in Italia[17], considerando il riciclo, la discarica e la termovalorizzazione.
Uno schema dettagliato del sistema analizzato è riprodotto in Fig. 1.

[17] Le percentuali considerate sono le seguenti: discarica: 19%; riciclo: 65%; termovalorizzazione 16%.

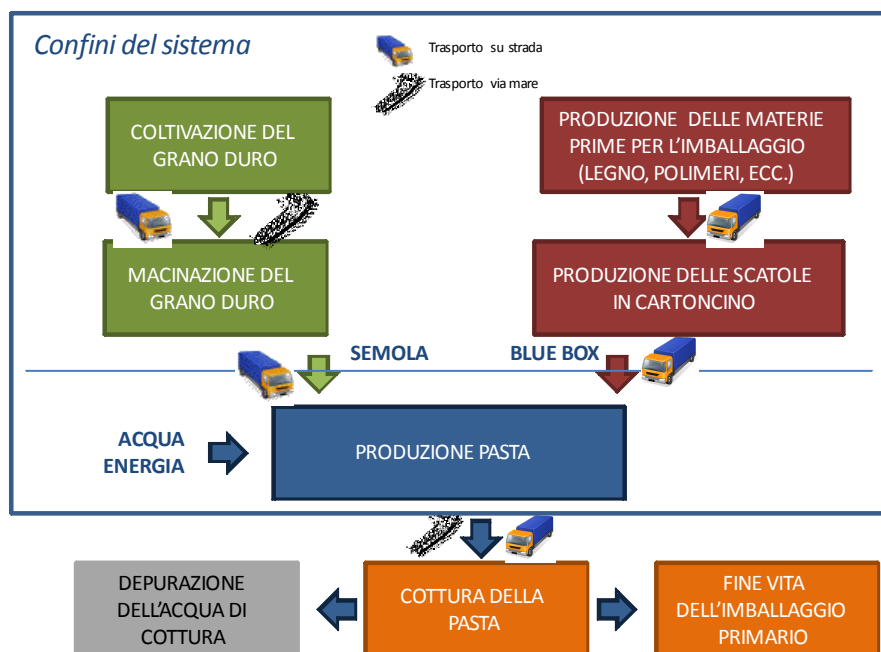



Fig. 1 – Confini del sistema analizzato

2.3 Risultati principali

In questa parte della relazione vengono riportati alcuni dei principali risultati dello studio utilizzando lo schema tipico delle dichiarazioni ambientali EPD™. A tal proposito è da osservare come al momento in cui viene scritta questa relazione, maggio 2009, il lavoro è in fase di verifica e quelli presentati di seguito sono quindi da intendersi come risultati preliminari possibili di correzioni.
Una delle prime informazioni fornite è costituita dal fabbisogno di risorse che viene riportato in due sezioni distinte: risorse con contenuto energetico (Tab. 1) e risorse prive di contenuto energetico (Tab. 2).

RISORSE ENERGETICHE - MJ/0,5 kg di pasta		Grano duro (campo)	Semola (molino e trasporti)	Produzione pasta	Packaging	Trasporto prodotti	Totali
Rinnovabili	Idroelettrico	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,3
	Biomassa	0,4	0,0	0,0	0,7	0,0	1,1
	Altro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale rinnovabili		0,4	0,1	0,1	0,8	0,0	1,4
Non rinnovabili	Carbone	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,4
	Petrolio	1,6	0,6	0,4	0,4	0,5	3,5
	Gas naturale	2,4	0,2	1,4	0,5	0,0	4,5
	Nucleare	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2
	Altro	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totale non rinnovabili		4,2	0,9	2,0	1,0	0,5	8,7
Consumo complessivo di energia		4,7	1,0	2,1	1,8	0,5	10,1
Di cui da energia elettrica				0,4			

Tab. 1 – Consumo totale di risorse energetiche relative alla filiera della pasta: dati in MJ per 0,5 kg

RISORSE SENZA CONTENUTO ENERGETICO g/0,5 di pasta		Grano duro (campo)	Semola (molino e trasporti)	Produzione pasta	Packaging	Trasporto prodotti	Totali
Risorse rinnovabili		0	0	0	39	0	39
Non rinnovabili	Calcare (CaCO3)	17,6	0,1	0,0	3,8	0,1	22
	Cloruro di sodio (NaCl)	6,7	0,0	0,0	0,1	0,0	7
	Zolfo elementare	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	2
	Cloruro di potassio (kCl)	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1
	Altri	1,2	0,5	0,6	2,1	0,4	5
Totale non rinnovabili		29	1	1	6	0	37
Acqua (kg)		10	0	1	1	0	12

Tab. 2 – Consumo totale di risorse non energetiche relative alla filiera della pasta: dati in g per 0,5 kg

I risultati inerenti le emissioni di sostanze inquinanti sono presentati in forma "aggregata" mediante specifici indicatori riferiti a differenti tipologie di impatto ambientale (Tab. 3).

INDICATORI DI IMPATTO	Per 0,5 di pasta	Grano duro (campo)	Semola (molino e trasporti)	Produzione pasta	Packaging	Trasporto prodotti	Totali	
GWP da fonte fossile	g CO_2 equivalente	539,9	66,1	162,5	53,7	40,8	863	122
GWP da fonte bio	g CO_2 equivalente	-661,1	0,0	-2,5	-77,5	0,0	- 741	
Acidificazione	g SO_2 equivalente	5,5	0,8	0,9	0,5	0,7	8,2	
Eutrofizzazione	g PO_4^- equivalente	6,1	0,1	0,0	0,0	0,0	6,3	
Distruzione ozono	g CFC11 equivalente	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-	
Photosmog	g C_2H_4 equivalente	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	

Tab. 3 – Impatti potenziali delle emissioni di inquinanti connesse alle intere operazioni considerate all'interno dei confini del sistema. Dati espressi per 0,5 kg di pasta

Come già evidenziato, gli impatti associati alla fase di cottura e alla gestione dell'imballaggio primario al termine dell'utilizzo sono stati stimati sulla base di condizioni raccomandabili.
I risultati ottenuti in termini di GWP (effetto serra) e consumo d'acqua sono presentati in maniera comparativa rispetto alle altre fasi del ciclo di vita del prodotto. I grafici sono suddivisi in base agli indicatori considerati (Fig. 2, Fig. 3).

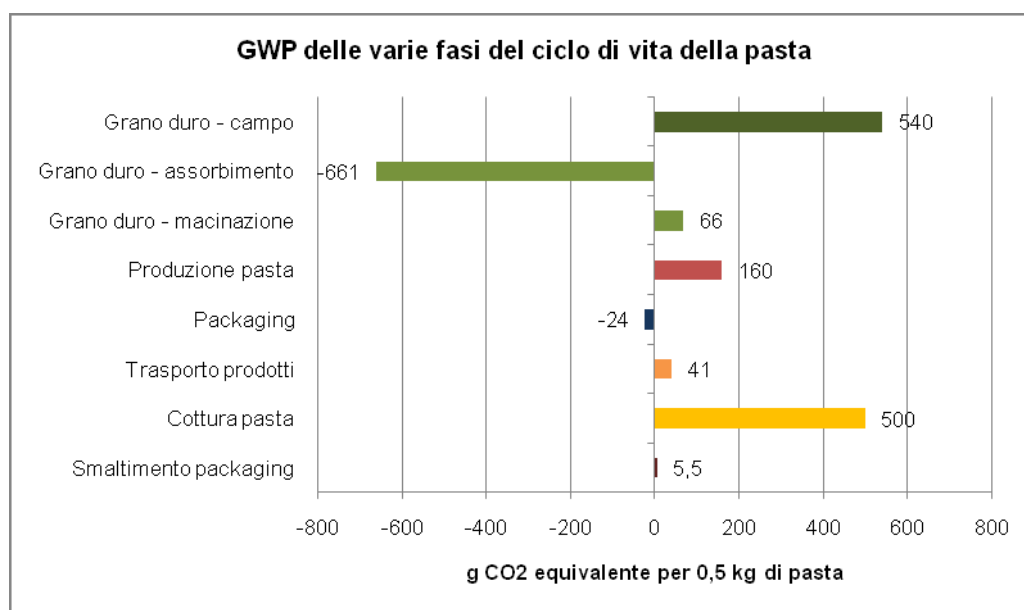



Fig. 2 – GWP associato alla cottura di 0,5 kg di pasta confrontato con le restanti fasi del ciclo di vita

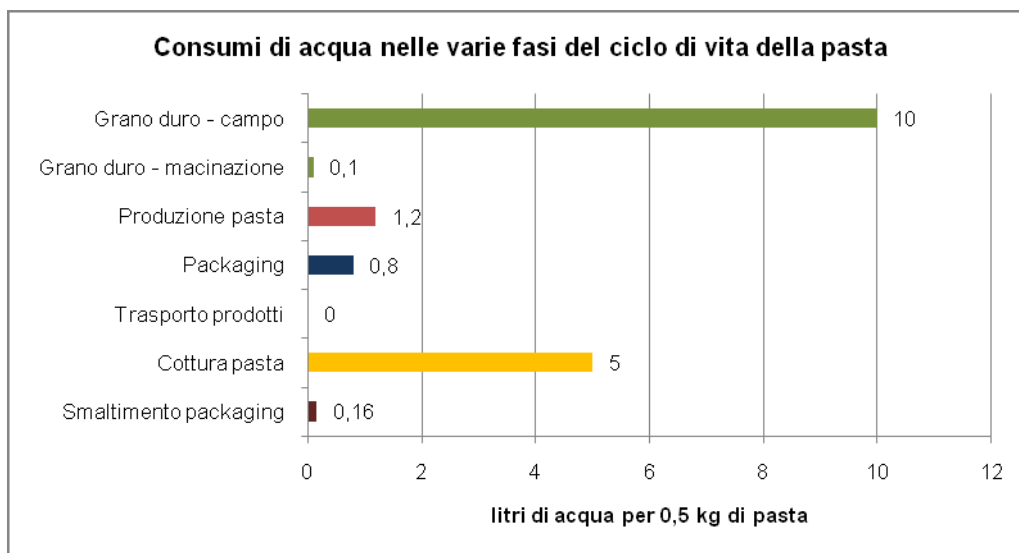



Fig. 3 – Consumo di acqua associato al ciclo di vita di 0,5 kg di pasta: per quanto riguarda la coltivazione del grano duro il consumo di acqua è dovuto prevalentemente alla produzione dei fertilizzanti

2.4 L'impronta (footprint)

L'Ecological Footprint (impronta ecologica) misura la quantità di terra e acqua biologicamente produttive necessarie sia a fornire le risorse consumate, sia quelle necessarie ad assorbire i rifiuti prodotti. È un indicatore aggregato che misura, tramite fattori di conversione ed equivalenze specifiche, le diverse modalità di utilizzo delle risorse ambientali utilizzate per la produzione in oggetto *Energy land, Crop land, Grazing land, Forest, Built-up land, Fish.ground*) in un'unica unità di misura: l'ettaro globale[18]. La metodologia di calcolo è individuata dal *Global Fooptrint Network*[19].

Durante l'applicazione LCA è stato eseguito un calcolo preliminare di tale indicatore che andrà ad essere affinato nel prossimo futuro in quanto Barilla ha deciso di utilizzarlo come uno dei KPI delle proprie attività.

Nel dettaglio il calcolo ha preso in considerazione come componenti principali il *Crop Land, l'Energy Land e il Forest*. Il valore associato alla produzione di 0,5 kg di pasta è circa 7 m^2 globali e il contributo prevalente è associato alla fase di coltivazione delle materie prime agricole, ossia alla componente *Crop Land* (Fig. 4).

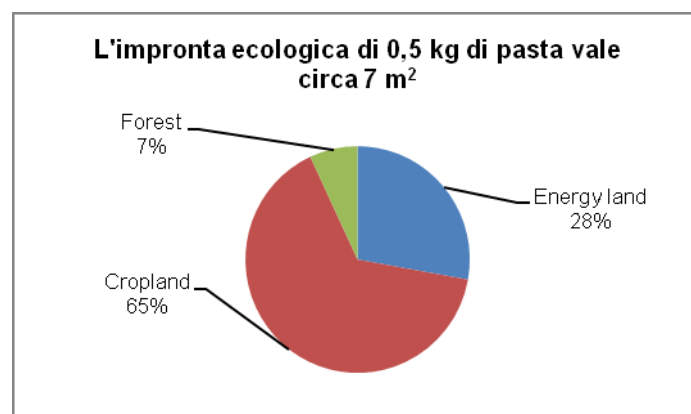



Fig. 4 – Contributo delle componenti Energy Land, Crop Land e Forest al valore di EF per 0,5 kg di pasta

---

[18] In tale sede il risultato finale è fornito in m^2 globali, considerando che un ettaro è pari a 10.000 m^2.

[19] www.globalfootprint.org

Il Water Footprint è un indicatore specifico dell'utilizzo di acqua dolce ed esprime questo dato in stretta relazione alle caratteristiche geografiche dell'azienda coinvolta dall'analisi. L'acqua totale misurata è composta da tre elementi (*blue water footprint, green water footprint, grey water footprint*), secondo la metodologia di calcolo individuata dal *Water Footprint Network*[20] e a cui si è fatto riferimento in tale contesto.
Nel caso della produzione della pasta, è stata considerata la componente di *green water,* ovvero il volume di acqua piovana evapotraspirata dal suolo e dalle piante coltivate, *e di blue water,* ovvero l'acqua da pozzo o da acquedotto utilizzata nei processi; è stata trascurata la *grey water* assumendo che le acque di scarto presso gli stabilimenti siano trattate a sufficienza prima dello smaltimento, secondo gli standard dei legge.
Il valore di Water Footprint associato alla produzione di 1 kg di pasta è circa 700 l di acqua e il contributo prevalente è dovuto alla quota di *green water* relativa alla coltivazione del grano duro (Fig. 5).

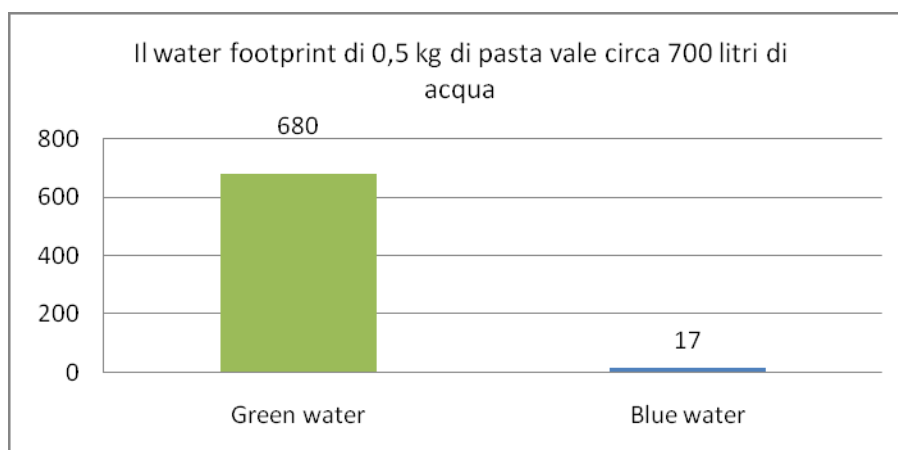



Fig. 5 – Water Footprint associato alla produzione di 1 kg di pasta

3. Conclusioni

L'analisi inerente la produzione della pasta, effettuata considerando i confini "dalla culla al cancello", mostra che la fase più energivora e rilevante da un punto di vista ambientale è quella legata alla produzione della materie prime, mentre gli impatti minori sono associati alle fasi del packaging e dei trasporti.
La fase agricola, comprendente la coltivazione del grano duro e l'utilizzo di fertilizzanti e acqua, è tra gli aspetti più considerevoli della filiera: è importante evidenziare che, in virtù di ciò, i risultati tengono conto delle differenze di resa e irrigazione, in base alle aree geografiche e climatiche dei paesi fornitori di grano per Barilla.
Tale considerazione è in linea con le sempre più definite linee strategiche politiche che vedono il settore agricolo come uno di quelli in cui siano possibili i maggiori spazi di miglioramento ambientale del sistema produttivo.
L'analisi della fase d'uso mostra quanto il comportamento del consumatore influenzi gli impatti ambientali ed energetici connessi alla cottura della pasta e quanto, proprio per questo, la variabilità del dato diventi determinante nella stima finale. Già solo considerando le condizioni ideali di cottura, in termini di tempi e quantità di acqua, i dati mostrano che questa fase ha un valore di GWP pari all'intero sistema di produzione del prodotto stesso. Di qui, appare evidente la necessità di interventi mirati di comunicazione al consumatore per orientare il suo comportamento verso una graduale riduzione degli impatti.
A partire dalla forza di tale studio LCA, Barilla ha l'obiettivo di sviluppare una Dichiarazione Ambientale di Prodotto per la pasta, secondo la regolamentazione internazionale EPD[21].

[20] www.waterfootprint.org
[21] www.environdec.com

Con uno strumento di comunicazione trasparente e riconosciuto a livello scientifico come l'EPD, la credibilità dello studio è estesa a livello internazionale.
A tale scopo, al momento, i dati e le ipotesi sono in n fase di verifica da parte terza, al fine di ottenere la pre-certificazione EPD e di procedere successivamente alla certificazione.

Bibliografia essenziale

APAT; "Rapporto Rifiuti 2007"; 2007

APME – Association of Plastic Manufacturers Europe; "Oriented Polyethylene Film"; 1999.

Baldo, Marino, Rossi; "Analisi del ciclo di vita LCA – Nuova edizione aggiornata"; Edizioni Ambiente; 2008

Benedusi L.; "Le emissioni inquinanti in atmosfera dal settore agricolo"; Amministrazione Provinciale di Piacenza – Servizio Pianificazione Territoriale e Ambientale; 2006

Boustead I., Hancock G.; "Handbook of Industrial Energy Analysis"; The Open University, West Sussex, England; 1979

Brentrup F., "Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems", Europ. J. Agronomy 20 (2004) 265–279

COMIECO; "Raccolta, riciclo e recupero di carta e cartone. 12° rapporto 2006", 2007

Ecoinvent; "Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. Swiss Centre for Life Cycle Inventories"; www.ecoinvent.ch; 2007

FEFCO; "European database for corrugated board life cycle studies"; Grupment Ondulè, European Containerboard Organization, 2006.

Gerbens-Leenes, P.W. and Hoekstra, A.Y. "Business water footprint accounting: a tool to assess how production of goods and services impacts on freshwater resources worldwide", Research Report Series N°27, UNESCO IHE (2008)

Global Footprint Network (2006), "Ecological Footprint Standards 2006" (www.footrpint network.com)

Houghton J.T., Jenkins G.J., Ephraums; "Climate change. The IPCC scientific assessment"; Cambridge University Press, Cambridge; 1991

Masoni A, Pampana S.; "Fertilizzazione azotata dei cereali autunno-vernini"; http://www.irri.it/docs/fertilizzazioneazotata.pdf

Rabls and al; "How to Account for CO2 Emissions from Biomass in an LCA"; International Journal of LCA; 12-2007

Wackernagel M., Rees W.E., "L'impronta ecologica – Come ridurre l'impatto dell'uomo sulla Terra", Edizioni Ambiente, 2008

www.ecoinvent.ch

www.environdec.com

www.fao.org/nr/water/aquastat/gis/index3.stm

www.globalfootprint.org

www.waterfootprint.org

LCA APPLICATA ALLE TECNOLOGIE ALIMENTATE DA FONTI RINNOVABILI DI ENERGIA

Maurizio Cellura (mcellura@dream.unipa.it), Fulvio Ardente, Sonia Longo
Università di Palermo, Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali
Viale delle scienze, 90128 Palermo

ABSTRACT
L'impiego delle tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia è considerato nevralgico per affrontare le emergenze ambientali innescate dai cambiamenti climatici indotti dal massiccio impiego di fonti fossili di energia. La valutazione delle prestazioni delle tecnologie e la definizione di opportune strategie energetiche future deve fondarsi su adeguate informazioni scientifiche sul ciclo di vita degli impianti. Il presente articolo analizza alcune delle peculiarità degli studi di LCA applicati alle tecnologie rinnovabili e descrive i risultati di alcuni casi studio sviluppati dagli autori o tratti dalla letteratura scientifica.

1. Introduzione

L'approvvigionamento energetico è una delle esigenze più stringenti, sia dei paesi industrializzati che di quelli in via di sviluppo. A fronte di una crescente domanda di energia i sistemi energetici attuali sono in gran parte basati sull'uso dei combustibili fossili. Le fonti fossili sembrano però destinate ad esaurirsi in tempi relativamente brevi, rendendo necessaria una rapida transizione dai sistemi energetici attuali ai futuri, nei quali l'uso di tecnologie alimentate da fonti rinnovabili di energia dovrà rivestire un ruolo estremamente significativo. Inoltre l'uso dei combustibili fossili è responsabile di elevati impatti ambientali, in particolare in termini di emissioni di biossido di carbonio, il principale responsabile dei mutamenti climatici in atto.

Gli orientamenti dell'UE relativi alla Politica Integrata di Prodotto (IPP) ed alle Strategie Europee per la sicurezza dell'approvvigionamento energetico, hanno evidenziato che [1; 2; 3]:

- "*La sicurezza dell'approvvigionamento richiede varie iniziative politiche che consentano di diversificare le fonti e le tecnologie, senza ignorare il contesto geopolitico e le sue implicazioni*";
- "*È necessario un sostegno alla ricerca e allo sviluppo, orientato all'innovazione e al cambiamento, sfruttando il potenziale di tutte le tecnologie energetiche*";
- "*Lo sviluppo delle energie nuove e rinnovabili, compresi i biocarburanti, è la chiave di volta del cambiamento*";
- "*Le tecnologie sull'energia rinnovabile, come molte altre tecnologie innovative, risentono di un'iniziale mancanza di fiducia da parte degli investitori, dei governi e degli utilizzatori, dovuta a scarsa dimestichezza con il loro potenziale tecnico ed economico e ad una resistenza generale al cambiamento e a nuove idee*".

Le tecnologie per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia (o RES – Renewable Energy Sources) non sono però da considerare ad "emissioni zero" [4; 5]. È necessario includere in queste valutazioni i bilanci ambientali di fasi quali: la manifattura, i trasporti, l'installazione e manutenzione, e lo smaltimento finale degli impianti. Come individuato dall'UE nell'ambito delle sue comunicazioni per la IPP [6], l'approccio del "*life cycle thinking*" è da considerarsi come prioritario per valutare le prestazioni globali di prodotti e tecnologie, per valutare gli impatti ambientali significativi, confrontare le prestazioni di manufatti surrogabili e definire delle possibili strategie e soluzioni innovative per il loro miglioramento complessivo in un'ottica di ciclo di vita. Tali studi avranno una duplice finalità:

- promuovere le tecnologie più efficienti ed ecocompatibili, ed incentivare la ricerca sulle tecnologie con i maggiori margini di miglioramento;

- comunicare al pubblico informazioni attendibili e scientificamente fondate.

Allo scopo di garantire una sufficiente trasparenza e scientificità nelle azioni di promozione delle tecnologie per le RES, è auspicabile che tale comunicazione sia organizzata secondo "format" standardizzati di comunicazione. Tali format potrebbero essere sviluppati a partire da modelli già consolidati (quali ad esempio schema EPD [7]), introducendo elementi ed informazioni aggiuntive peculiari per le tecnologie in studio.

1.1 Le più stringenti necessità in termini di ricerca

Le iniziative politiche e l'attuale pianificazione energetica ed ambientale europea sono orientate ad un continuo miglioramento ambientale del tessuto produttivo, non solo in termini di ottimizzazione delle prestazioni dei prodotti, ma anche innescando una revisione generale dei modelli di progettazione, produzione e consumo, nei quali la "qualità" dei prodotti non potrà più prescindere dalla loro "qualità ambientale". Questi obiettivi sono stati ribaditi dal legislatore comunitario nell'ambito delle nuove direttive per la promozione dell'eco-efficienza e, in particolare, nell'ambito della Direttiva 2005/32/CE che ha introdotto il quadro normativo per la definizione delle specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia (Energy Using Products – EuP) [8]. Tale direttiva mira ad introdurre, per ciascuna categoria di EuP, un set di requisiti minimi di prestazioni energetico-ambientali (introdotti in apposite "misure di esecuzione") a cui attenersi per poter essere commercializzati in ambito Europeo. Anche gli impianti per lo sfruttamento delle RES sono classificabili come EuP[22]. Pertanto, per il ruolo determinante che tali tecnologie rivestono nelle politiche energetiche attuali e future, è auspicabile che opportune specifiche per la progettazione siano elaborate per ciascuna tipologia di impianto. La scelta di opportuni criteri minimi energetico-ambientali darà l'avvio ad un mercato sempre più selettivo in cui i prodotti con le migliori prestazioni saranno incentivati, mentre quelli con prestazioni scadenti saranno progressivamente tagliati fuori. La definizione delle "misure di esecuzione" è un compito prettamente tecnico che richiede un approfondito studio dei settori e delle loro criticità. A tal proposito è necessario incentivare gli studi di LCA che analizzino le prestazioni degli impianti per lo sfruttamento delle RES. Queste ricerche dovrebbero peraltro essere propedeutiche all'attività di normazione del legislatore, poiché possono contribuire a migliorare la consapevolezza sugli "hot-spot" dei manufatti, cioè le fasi ed i componenti caratterizzati da impatti ambientali maggiori e con i maggiori margini di miglioramento. Inoltre l'analisi degli impianti presenti nel mercato è importante anche per le aziende, che potranno così procedere alla valutazione comparata dei propri prodotti rispetto a valori medi di settore (benchmark). Di tali informazioni potranno beneficiare le aziende proattive, ovvero i soggetti che sapranno essere flessibili e capaci di comprendere in anticipo l'evoluzione del mercato, delle tecnologie e degli standard di prestazione, e che saranno in grado di rimanere al passo con le modifiche normative. Spesso gli studi svolti in merito alle prestazioni degli impianti per lo sfruttamento delle RES sono stati incentrati sulla raccolta ed elaborazione delle informazioni ed alla loro elaborazione, non pervenendo alla definizione di criteri di progettazione eco-compatibile. Occorre dunque analizzare le criticità di ciascuna tecnologia, individuando criteri, indicatori ed informazioni chiave di cui occorre tener conto. È necessario in tal senso un modello di valutazione orientato all'ecodesign dei prodotti, in cui tecnologie differenti siano tra di loro comparate allo scopo di fissare i criteri minimi di ecodesign.

L'affidabilità delle valutazioni effettuate in fase progettuale è inoltre legata all'affidabilità delle analisi a monte della progettazione, e la qualità finale del prodotto è correlata anche all'attendibilità degli ecoprofili analizzati. Si dovrà prestare particolare attenzione alle assunzioni metodologiche ed ai requisiti di qualità dati ed alla loro rappresentatività.

---

[22] Si definisce EuP" un prodotto che, dopo l'immissione sul mercato e/o la messa in servizio, dipende da un input di energia (energia elettrica, combustibili fossili e energie rinnovabili) per funzionare secondo l'uso cui è destinato o un prodotto per la generazione, il trasferimento e la misurazione di tale energia, incluse le parti che dipendono da input di energia e che sono destinate a essere incorporate in un prodotto che consuma energia" [8].

A causa di dati non attendibili i risultati dell'analisi potrebbero, infatti, rivelarsi deficitarii, parziali, ovvero non scientificamente fondati. Si evidenzia dunque l'esigenza di sviluppare un'intensa attività di ricerca in tal senso, sia a livello metodologico (con l'analisi delle ipotesi di base e le criticità degli studi LCA di riferimento) che applicativo (attraverso la redazione di un numero sempre più elevato di ecoprofili di "casi-studio"). La disponibilità di informazioni attendibili è inoltre fondamentale per le attività di pianificazione energetica. L'utilizzo di modelli multicriteriali di supporto alla decisione può rivelarsi un'efficace mezzo per i "*decision maker*" per la promozione di talune tecnologie o di opportune strategie energetiche, ovvero nella selezione di scelta progettuale tra un set di alternative surrogabili, sulla base di criteri sia economici che energetici ed ambientali [9; 10].

1.2 Indicatori di Payback

Nell'incentivazione allo sviluppo delle tecnologie per le RES è necessario rivolgere particolare attenzione alla comunicazione dei dati e delle informazioni ambientali. Tali informazioni sono fondamentali per un duplice motivo. In primo luogo per garantire una sufficiente informazione ai consumatori e rafforzare il segmento del "Green Public Procurement". Solo disponendo di informazioni affidabili, confrontabili e trasparenti, i consumatori potranno operare delle scelte eco-orientate, premiando con i loro acquisti i prodotti con le prestazioni migliori. Dall'altro lato, informazioni trasparenti ed affidabili sono fondamentali per progettisti e produttori, sia per valutare l'ecoprofilo dei loro prodotti, sia per effettuare gli utili confronti con prodotti surrogabili nel mercato e contribuire così alla progettazione eco-compatibile. L'utilizzo di un apposito "*set di indicatori*" può contribuire a sintetizzare le prestazioni degli impianti e delle tecnologie, in modo semplice, immediato e completo. A tal proposito, un interessante base conoscitiva è fornita dagli indicatori impiegati nel sistema di certificazione EPD, che forniscono una panoramica abbastanza ampia dei principali impatti (quali emissioni in aria, produzione di riusi, consumo di risorse e contributo ai principali fenomeni di inquinamento globale). Gli impianti per lo sfruttamento delle RES sono però caratterizzati dall'avere i principali impatti localizzati nelle fasi di manifattura e e smaltimento, ed al contrario impatti molto ridotti in fase d'uso. Particolarmente interessanti per tali tecnologie sono gli indici di Payback energetico ed ambientale. Prendendo a prestito dei concetti tipici degli studi economici, tali indici permettono di valutare in quanto tempo gli "investimenti" iniziali per gli impianti innovativi (in termini di *Embodied Energy* ed emissioni) sono "recuperati" grazie ai ridotti impatti in fase d'uso.

Per tali indici è necessario definire un sistema convenzionale di riferimento rispetto a cui valutare i benefici ottenuti. Supposto che l'impianto convenzionale e quello innovativo funzionino nelle medesime condizioni operative, i "Benefici Primari Netti" possono essere calcolati come:

$$1.\quad B_{net,i} = I_{Conventionale,i} - I_{Innovativo,i}$$

- $B_{net,i}$ = Beneficio primario netto per l'indicatore "i";
- $I_{Conventionale,i}$ = impatto "i" di ciclo di vita riferito all'uso di un impianto convenzionale;
- $I_{Innovativo,i}$ = impatto "i" di ciclo di vita, riferito all'uso dell'impianto innovativo.

I benefici netti sono necessari per il calcolo di due indici sintetici:

- L'"**Energy Payback Time** (***E_{PT}***)": rappresenta il tempo di utilizzo di un impianto innovativo affinché l'energia risparmiata uguagli l'energia addizionale spesa per la produzione, manutenzione e smaltimento dell'impianto stesso rispetto a quella spesa per un impianto convenzionale.

$$2\quad PT_E = \frac{GER_{inn} - GER_{ref}}{\left(PE_{ref} - PE_{inn}\right)_{anno}}$$

- GER_{Inn} = Energia primaria consumata per la produzione, installazione/manutenzione e smaltimento dell'impianto innovativo [MJ];

- GER_{ref} = Energia primaria consumata per la produzione, manutenzione e smaltimento del sistema convenzionale di riferimento [MJ];
- $PE_{ref,anno}$ = Consumo annuale di energia primaria del sistema di riferimento [MJ/anno].
- $PE_{inn,anno}$ = Consumo annuale di energia primaria del sistema innovativo [MJ/anno].

- L' "**Emission Payback Time (*EM_{PT}*)**": rappresenta il tempo necessario di utilizzo di un impianto innovativo, affinché gli impatti ambientali evitati (rispetto a quelli che avrebbe prodotto un impianto convenzionale) eguaglino gli impatti connessi alla produzione, manutenzione e smaltimento dell'impianto innovativo stesso. L'indicatore di EM_{PT} può essere calcolato per differenti tipologie di impatto. Ad esempio per l'indicatore di GWP, si avrà:

$$3. \qquad PT_{EM,i} = \frac{GEM_{inn,i} - GEM_{ref,i}}{\left(EM_{ref,i} - EM_{inn,i}\right)_{year}}$$

- $GEM_{inn,i}$ = Emissioni complessive del generico inquinante "i" relative alla produzione, installazione, manutenzione e smaltimento del sistema innovativo [kg_i];
- $GEM_{ref,i}$ = Emissioni complessive del generico inquinante "i" relative alla produzione, installazione, manutenzione e smaltimento del sistema convenzionale [kg_i];
- EM_{inn-i} = Emissioni annue del generico inquinante "i" relative all'uso del sistema innovativo [kg_i /anno];
- EM_{ref-i} = Emissioni annue del generico inquinante "i" relative all'uso del sistema convenzionale [kg_i /year].

Il denominatore dell'indicatore EM_{PT} riportato nella formula 2 rappresenta le emissioni risparmiate, ovvero il "surplus" di emissioni che sarebbero rilasciate in ambiente se l'impianto innovativo non fosse utilizzato. Tale valore dipende dalla tipologia ed efficienza del sistema convenzionale adottato. Esso può essere stimato sulla base del consumo annuo di energia primario (PE_{year}) precedentemente introdotto, e sulla base dei fattori di emissione degli impianti (dati generalmente reperibili nei database ambientali per la LCA).

Un altro interessante indice è l' "**Energy Return Ratio (ER)**". Esso rappresenta quante volte l'energia risparmiata grazie all'uso dell'impianto innovativo supera l'energia investita per la realizzazione e gestione dello stesso:

$$4. \quad E_R = \frac{E_{ref} - E_{inn}}{GER_{inn}}$$

- E_{ref} = Energia complessiva spesa durante tutto il ciclo di vita dell'impianto di riferimento (produzione, installazione, manutenzione, uso e smaltimento) [MJ].
- E_{inn} = Energia complessiva spesa durante tutto il ciclo di vita dell'impianto di innovativo (produzione, installazione, manutenzione, uso e smaltimento) [MJ]

Questo indice è particolarmente significativo poiché esso include sia il GER che l'energia risparmiata durante il ciclo di vita. Un'ulteriore variante "E'_R" del precedente indice può essere definita come:

$$4bis. \quad E'_R = \frac{E_{ref} - E_{inn}}{GER_{inn} - GER_{ref}}$$

Questo indice prende in considerazione i benefici netti, e li correla agli impatti aggiuntivi dei componenti presenti esclusivamente nel sistema innovativo.
È importante notare che all'aumentare della vita utile dell'impianto le prestazioni complessive di ciclo di vita migliorano, anche se con la progressiva obsolescenza comporta una perdita di efficienza nel tempo. La *corretta stima della vita utile degli impianti e la progressiva riduzione di efficienza* è dunque un elemento chiave da valutare attentamente negli studi di LCA.

2. LCA di tecnologie per lo sfruttamento delle RES

Nei seguenti paragrafi sono presentati i risultati di vari studi relativi alle prestazioni di ciclo di vita delle principali tecnologie per lo sfruttamento delle RES.

2.1 Collettori solari termici

L'utilizzo termico dell'energia solare ha raggiunto maturità ed affidabilità tali da far divenire i collettori solari una tecnologia economica e largamente usata per il riscaldamento dell'acqua sanitaria. Il rendimento dei pannelli è aumentato di molto nell'ultimo decennio, rendendo commercialmente competitive varie applicazioni nell'edilizia e nell'agricoltura.

I collettori solari termici possono inoltre essere integrati a sistemi innovativi di Solar Cooling, per il trattamento e condizionamento dell'aria [17]. Anche in questo caso i risultati sono confortanti,con tempi di *payback* stimati pari a circa 3 anni.

I risultati di alcuni studi di LCA sono presentati in Tab. 1. La Fig. 1 mostra un dettaglio di uno studio applicato ad un collettore solare termico integrato a circolazione naturale [12]. Le ricerche citate confermano il giudizio positivo inerente a questa tecnologia, con elevati benefici energetici ed ambientali cui si affiancano tempi di *payback* compresi tra uno e due anni. Dagli studi emerge che la maggior parte degli impatti sono imputabili alla produzione delle materie prime impiegate nella manifattura. Inoltre, fasi spesso trascurate, come la manutenzione, comportano impatti significativi (connessi principalmente alla sostituzione di elementi di ricambio). I collettori solari sono comunque caratterizzati da ampi margini di miglioramento connessi sia alla "dematerializzazione" dei manufatti (riduzione delle masse complessivamente impiegate ed eliminazione o sostituzione delle componenti con impatti maggiori) sia all'ottimizzazione della fase d'uso.

<table>
<tr><th>Autore</th><th colspan="2">Caratteristiche degli impianti solari</th><th>Superficie [m^2]</th><th>Massa [kg]</th><th>Embodied energy [GJ_{Prim}]</th><th>Energy Payback [anni]</th><th>Emissioni [$kg_{CO2\ eq}$]</th><th>CO_2 Payback [anni]</th></tr>
<tr><td rowspan="4">[11]</td><td>A.1</td><td rowspan="2">Collettori piani con accumulo separato</td><td>6,15</td><td>132,19</td><td>10,37</td><td>1,7 – 3,1</td><td>401</td><td>0,9 – 1,2</td></tr>
<tr><td>A.2</td><td>5,76</td><td>109,31</td><td>5,63</td><td>1,3 – 2,4</td><td>250</td><td>0,7 – 1,0</td></tr>
<tr><td>A.3</td><td>Collettore a tubi vuoti con accumulo separato</td><td>5</td><td>120,16</td><td>3,022</td><td>1,2 – 2,1</td><td>174</td><td>0,7 – 1</td></tr>
<tr><td>Altre componenti</td><td>Accumulo, tubi, pompa, scambiatore calore ecc.</td><td>-</td><td>286,54</td><td>6,6</td><td>-</td><td>259</td><td>-</td></tr>
<tr><td>[12]</td><td colspan="2">Impianto a circolazione naturale con collettori piani e serbatoio integrato</td><td>2,13</td><td>187</td><td>11,5</td><td>2</td><td>721</td><td>2</td></tr>
<tr><td>[13]</td><td colspan="2">Collettore solare con accumulo di 150 l</td><td>1,8</td><td>86,04</td><td>-</td><td>-</td><td>381</td><td>< 1</td></tr>
<tr><td>[14]</td><td colspan="2">Analisi energetica basata su un modello Input-Output ibrido</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>0,5 – 2</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>[15]</td><td colspan="2">Vari collettori a circolazione naturale</td><td>2 – 6</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>1,6 – 5</td></tr>
<tr><td>[16]</td><td colspan="2">Confronto tra 12 tipologie differenti di impianti con collettori solari.</td><td>3,2 – 5,5</td><td>-</td><td>10 – 18</td><td>1,4 – 2,4</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

Tab. 1 – Risultati di studi di LCA applicati a varie tipologie di impianti solari

	Transport of raw mat.	Collector	Water tank	Support	Other parts	Packaging	Installation	Mainten.	Disposal
□ Feedstock		0.22	0.49		0.04	0.14		0.63	
■ Fuel energy	0.3	3.49	3.96	1.09	0.06	0.15	0.2	0.70	0.02

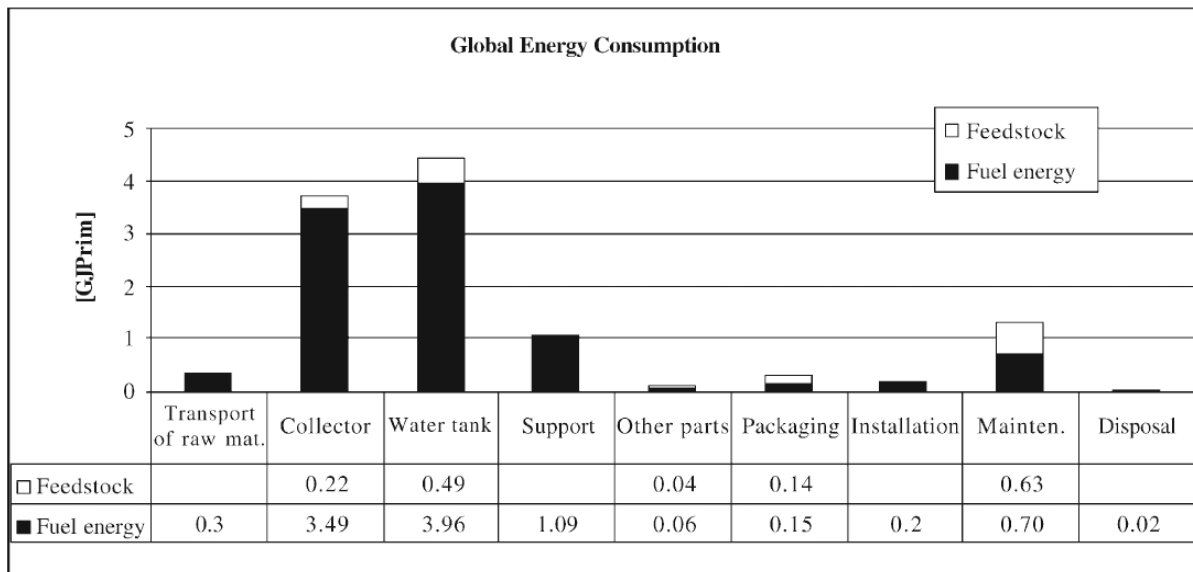



Fig. 1 – *GER – "Global Energy Consumption". Dettaglio delle fasi della LCA*

2.2 Collettori solari fotovoltaici

L'utilizzo dei collettori fotovoltaici (PV) per la produzione di elettricità è una tecnologia matura ma ancora caratterizzata da bassi valori di efficienza degli impianti ed elevati costi di produzione. A questi costi devono anche essere sommati i "costi energetici ed ambientali", che rendono questa tecnologia meno competitiva rispetto ad altri impianti per le RES. Un interessante confronto tra vari studi di LCA applicati ai collettori PV è presentato in [18].
Sono analizzate quattro tipologie differenti di collettori PV (wafer in silicio monocristallino e multicristallino, PV in nastri, e moduli in CdTe). Dal confronto emerge che le emissioni specifiche di ciclo di vita dei collettori PV variano significativamente in base al tipo di tecnologia, al mix energetico del paese di produzione, ed inoltre al livello di insolazione della località di installazione. Ad esempio i wafer monocristallini hanno prestazioni specifiche che variano da 39 g_{CO2}/kWh a 49 g_{CO2}/kWh, mentre i moduli in CdTe hanno emissioni specifiche che variano da 15 g_{CO2}/kWh a 21 g_{CO2}/kWh. Ciò testimonia le grandi prospettive di sviluppo e diffusione di questi collettori che, sebbene siano caratterizzati da un'efficienza molto bassa e non superiore al 9%, hanno complessivamente prestazioni ambientali migliori. Le tecnologie fotovoltaiche sono inoltre caratterizzate da elevati margini di miglioramento, con un'intensa attività di ricerca finalizzata soprattutto alla diminuzione dello spessore dei wafer ed all'aumento dell'efficienza dei moduli. Si prospetta di arrivare a dimezzare gli spessori dei wafer in silicio multicristallino nei prossimi 5 anni, e di incrementare entro il 2010 l'efficienza dei moduli in CdTe dal 9% attuale al 12%. Secondo questa ultima ipotesi, i moduli in CdTe saranno caratterizzati da emissioni specifiche pari a 11 g_{CO2}/kWh, rendendo tali moduli estremamente competitivi rispetto ad altre tecnologie surrogabili.

2.3 Impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica

L'energia del vento è generalmente utilizzata mediante l'impiego di macchine eoliche in grado di trasformare l'energia cinetica in energia meccanica di rotazione, utilizzabile sia per l'azionamento diretto di macchine operatrici che per la produzione di energia elettrica. Nell'ultimo decennio si è assistito ad un notevole aumento del numero di impianti per lo sfruttamento dell'energia eolica. Nel 2008 era installata in Europa una potenza complessiva di 65.933 MW; l'Italia con i suoi 3.736 MW installati rappresenta il terzo produttore in Europa[23].

[23] Dati EWEA – Europeam Wind Energy Agency: www.ewea.org

Parallelamente a tale sviluppo industriale, sono stati realizzati numerosi studi inerenti alle prestazioni energetiche ed ambientali di diverse tipologie di “wind farm”. Un’interessante sintesi di 75 studi di LCA di impianti eolici con potenze variabili (comprese tra 0.3 e 300 kW) è presenta in [19]. Tale indagine classifica i casi studio secondo tre indicatori: l’ “*energy intensity*”[24], la “*CO_2 intentity*”[25], ed il fattore di carico (*load factor*[26]). Dallo studio è emerso che:

- i valori dell’”energy intensity” variano da 0,014 kWh/kWh_{el} ad 1 kWh/kWh_{el};
- i valori della “CO_2 intensity” variano da 7.9 g_{CO2eq}/kWh_{el} a 123.7 g_{CO2eq}/kWh_{el};
- i fattori di carico variano dal 6% al 50.4%.

Questi “*range* di variazione” così sensibilmente diversi sono imputabili a:

- la dimensione degli impianti, con prestazioni migliori per impianti di grossa taglia;
- la velocità media e la frequenza del vento per la località selezionata;
- ipotesi anche molto differenti nello svolgimento delle LCA, inclusi i diversi confini del sistema, regole di cut off e dati bibliografici;
- diverse ipotesi per la vita utile degli impianti.

Un dettaglio di una LCA di una *wind farm* installata nel territorio nazionale è mostrata in Fig. 2 [20]. Dallo studio è inoltre emerso che i valori degli indicatori di *payback* sono molto bassi (minori di un anno) anche nell’ipotesi di ridotti valori della produzione elettrica dell’impianto.

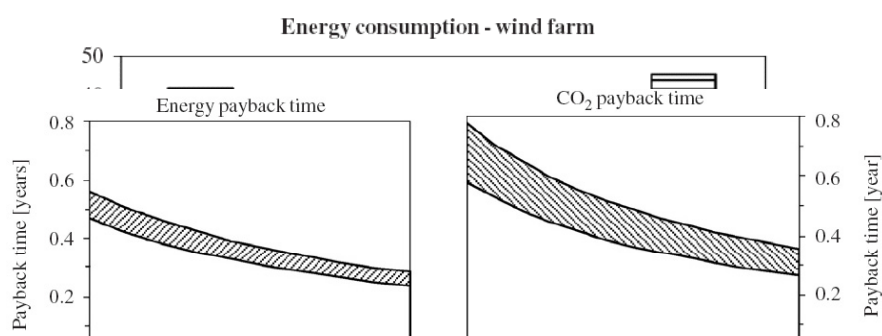



Fig. 2 – *Dettaglio di una LCA condotta su una” wind farm” in Italia* [20]

2.4 Impianti idroelettrici

Gli impianti idroelettrici rappresentano a livello mondiale la tecnologia per lo sfruttamento delle RES maggiormente consolidata e matura. Tali impianti sono largamente diffusi in vari Paesi ed il loro output energetico incide in modo significativo sulle prestazioni dei mix energetici nazionali. Gli impianti idroelettrici, specie quelli dotati di bacino di riserva, presentano alcuni aspetti peculiari quali l’elevata flessibilità (con la possibilità di modificare rapidamente il deflusso idrico e la conseguente produzione elettrica) e la multi-funzionalità degli impianti, utilizzati anche per l’accumulo di acqua e per il controllo delle piene. Gli impianti idroelettrici sono inoltre caratterizzati da basse emissioni per kWh di energia prodotta. Nonostante gli elevati consumi di materie prime per la realizzazione delle infrastrutture, la vita utile elevata, i ridotti consumi in fase d’uso e l’elevata producibilità comportano impatti specifici molto bassi. Da un’indagine dei dati in letteratura risulta che gli impianti idroelettrici sono caratterizzati da emissioni per kWh che variano da pochi grammi a 20 g_{CO2eq}/kWh, e con valori di Return Ratio compresi tra 50 e 250 [21]. L’elevata variabilità è correlata ai parametri meteoclimatici, alla vita utile ed alle condizioni di funzionamento.

---

[24] Energy intensity: rapporto tra l’energia consumata nel ciclo vita e l’output energetico dell’impianto.
[25] CO2 intensity: rapporto tra le missioni di CO_2 nel ciclo vita e l’output energetico dell’impianto.
[26] Load factor: definito come la produzione media annua dell’impianto fratto la produzione massima ottenibile dall’impianto se lavorasse continuativamente alla potenza nominale.

2.5 Ecoprofilo dell'elettricità prodotta mediante varie tecnologie

Di seguito è presentato un sintetico confronto degli eco-profili dell'elettricità prodotta mediante varie tecnologie, basate sull'uso sia di fonti energetiche convenzionali che RES. Tra gli ecoprofili presentati è incluso anche il caso studio della fissione nucleare. Questa tecnologia, sebbene non rinnovabile, è considerata come una interessante opzione per ridurre le emissioni di gas serra. L'UE ha constatato che *"le preoccupazioni per il riscaldamento climatico hanno modificato le percezioni dei vincoli di approvvigionamento energetico e che la questione è particolarmente acuta per il nucleare che come fonte di produzione elettrica consente, insieme alle energie rinnovabili e all'efficienza energetica, di evitare le emissioni dei gas ad effetto serra derivanti dal consumo di combustibili fossili*" [1]. Occorre però valutare gli impianti per la fissione nucleare in riferimento a diversi parametri, primi fra tutti rischio e sicurezza, oltre che confrontare le prestazioni della tecnologia *from cradle to grave* con quelle di altre surrogabili.

Un esempio di LCA applicata all'elettricità prodotta da centrale nucleare stima un impatto specifico di 8,5 $gCO_{2,\,eq}$/kWh [22]. L'incidenza percentuale delle varie fasi è mostrata in Fig. 3. Per ciò che concerne le emissioni di gas climalteranti, le fasi maggiormente impattanti sono la produzione del combustibile fissile e la realizzazione degli impianti e delle infrastrutture. È stata comunque constata in letteratura una forte variabilità di tali dati (con emissioni specifiche anche pari a 80 $gCO_{2,\,eq}$/kWh), associate anche alle tecnologie utilizzate [21]. In particolare, il processo di arricchimento può avvenire in modo differente (per diffusione o centrifugazione), con elevate variazioni dei consumi di energia elettrica. Altri fattori determinanti per le prestazioni complessive degli impianti sono il grado di concentrazione dell'uranio nei minerali estratti ed il mix energetico delle nazioni di appartenenza. In merito alla fissione nucleare occorre inoltre tener presente la scarsa flessibilità degli impianti e la limitatezza delle riserve di uranio, che configurano la tecnologia nucleare come non rinnovabile. L'attuale ricerca mira, grazie alla rigenerazione delle scorie, ad allungare la vita utile del combustibile fissile.

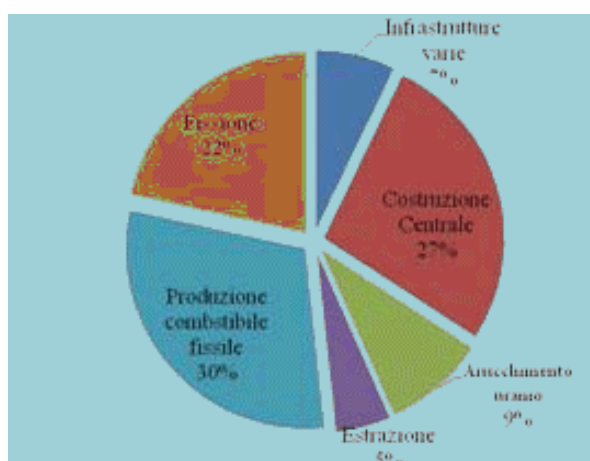



Fig. 3 – Emissioni di $CO_{2,eq}$ per kWh di energia elettrica da fissione nucleare

La Tab. 2 mostra un confronto degli eco profili di 1 kWh di energia elettrica prodotta secondo differenti tecnologie. È possibile osservare come gli impianti idroelettrici ed eolici abbiamo le prestazioni migliori. Le centrali nucleari hanno, in termini di emissioni di gas serra, impatti molto minori rispetto alle fonti fossili, ma non nulli, come talvolta erroneamente affermato. Gli impianti fotovoltaici invece sono caratterizzati da impatti ridotti ma pur sempre maggiori di quelli di altre tecnologie.

La Tab. 3 mostra invece un confronto tra i mix energetici di varie nazioni. La tabella conferma che i mix con prestazioni migliori siano quelli basati sull'impiego delle fonti rinnovabili e del nucleare.

		Centrale a Carbone [a]	Centrale a gas [a]	Centrale idroelettrica [a]	Centrale ad olio combustibile [a]	Impianto fotovoltaico[b]	Impianto eolico[a]	Centrale Nucleare[a]
GER (non rinnovabile)	MJ Prim	11,38	11,57	0,001	11,89	2,84	0,004	12,61
GER (rinnovabile)	MJ Prim	0,02	0,016	3,79	0,02	0,15	3,87	0,002
GER (totale)	MJ Prim	11,40	11,59	3,79	11,91	2,99	3,87	12,61
GWP	kg $CO_{2\,eq}$	1,01	0,65	0,0002	0,86	0,15	0,0002	0,005
Acidification	kg $SO_{2\,eq}$	6,8E-03	7,6E-04	6,0E-08	9,3E-03	4,6E-03	5,0E-07	4,0E-05
Eutrophication	kg $PO_4^{3-}{}_{eq}$	3,9E-04	1,0E-04	1,1E-08	4,6E-04	6,1E-05	9,2E-08	4,8E-06
ODP	kg $CFC_{11\,eq}$	7,1E-09	7,1E-08	4,4E-12	1,0E-07	1,0E-07	3,7E-11	1,7E-08
Photochemical oxidation	kg C_2H_4	2,3E-04	5,1E-05	5,7E-08	3,6E-04	1,9E-04	3,0E-08	1,7E-06

Tab. 2 – Ecoprofilo di 1 kWh di elettricità prodotto mediante differenti tecnologie
a: ECOINVENT database V2 ; b : *ETH-ESU 1996 database 1996*

		Mix Italiano (senza import)	Mix Italiano (con Import)	Mix Francia	Mix Svizzera	Mix Germania	Mix Great Britain	Mix USA	Mix Norvegia
GER (non rinnovabile)	MJ Prim	8,94	8,86	11,48	7,87	10,72	10,45	12,08	0,81
GER (rinnovabile)	MJ Prim	0,68	0,77	0,49	1,42	0,50	0,29	0,42	3,61
GER (totale)	MJ Prim	9,62	9,63	11,97	9,29	11,22	10,74	12,50	4,42
GWP	kg $CO_{2\,eq}$	0,70	0,56	0,09	0,11	0,63	0,58	0,74	0,03
Acidification	kg $SO_{2\,eq}$	3,2E-03	2,7E-03	4,9E-04	2,7E-04	8,5E-04	1,9E-03	5,4E-03	1,0E-04
Eutrophication	kg $PO_4^{3-}{}_{eq}$	2,0E-04	1,6E-04	3,2E-05	2,3E-05	8,6E-05	1,4E-04	2,1E-04	7,2E-06
ODP	kg $CFC_{11\,eq}$	5,6E-08	4,4E-08	4,0E-09	1,3E-08	2,4E-08	1,3E-08	1,9E-08	2,0E-09
Photochemical oxidation	kg C_2H_4	1,3E-04	1,1E-04	1,8E-05	1,2E-05	4,0E-05	7,7E-05	2,1E-04	4,5E-06

Tab. 3 – Mix energetico di varie nazioni per la produzione media di un 1 kWh di elettricità

Fonte: ECOINVENT database V2

3. Conclusioni

Allo stato attuale di sviluppo tecnologico, lo sfruttamento delle RES, insieme al miglioramento dell'efficienza dei sistemi energetici, rappresentano il principale strumento per l'affrancamento dalla dipendenza delle fonti fossili e per la lotta ai problemi di inquinamento globale.
Anche la fissione nucleare, per quanto caratterizzata da bassi valori di alcuni indicatori specifici (quale ad esempio le emissioni di $CO_{2eq.}$ per kWh di elettricità prodotta),non può considerarsi una risposta sostenibile a causa della limitatezza delle riserve di uranio. La fissione può comunque rappresentare una risposta momentanea, nel processo di transizione verso tecnologie future pienamente sostenibili, quali la fusione nucleare.
Gli impianti per lo sfruttamento delle RES, così come gli impianti nucleari attuali, sono comunque caratterizzati da impatti di ciclo di vita significativi. Inoltre tali impianti sono caratterizzati da una scarsa flessibilità, e da una producibilità strettamente variabile con fenomeni non controllabili, come ad esempio nel caso delle tecnologie solari ed eoliche dipendenti dai parametri meteo climatici. Occorre in tal senso investire nello studio e nella ricerca di soluzioni progettuali migliorative, che mirino a *dematerializzare* gli impianti, sostituire i componenti con impatti maggiori, aumentare l'efficienza di conversione energetica, incrementare la durabilità e migliorare la riciclabilità e la gestione nel fine vita.

Questi criteri ecocompatibili di progettazione dovrebbero essere definiti ed inclusi all'interno di apposite "misure di esecuzione" per gli impianti per lo sfruttamento delle RES, e contribuire così ad un miglioramento progressivo dei prodotti presenti nel mercato, oltre che rappresentare per i consumatori una garanzia aggiuntiva della convenienza economica, ambientale ed economica di tali tecnologie.

Bibliografia

[1] Commissione europea. "Verso una strategia europea di sicurezza dell'approvvigionamento energetico". 29 Novembre 2000 [COM(2000) 769 def.

[2] Commissione delle Comunità Europee. "Libro Verde Sulla Politica Integrata Relativa Ai Prodotti". Bruxelles, 07.02.2001 COM (2001) 68.

[3] Commissione Europea. "Energia per il Futuro: le fonti Energetiche Rinnovabili. Libro bianco per una strategia e un piano di azione della Comunità".

[4] Goralczyk M. Life cycle assessment in the renewable energy sector. Applied En. 2003; 75.

[5] F. Ardente, G. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano. "Life cycle assessment of a solar thermal collector". Renewable Energy 30 (2005) 1031–1054.

[6] Commission of the European Communities. "Integrated product policy building on environmental life-cycle thinking". COM 2003, 302 Final.

[7] The International EPD Cooperation (IEC). General Programme instructions for Environmental product declarations, EPD. version 1.0 dated 2008-02-29.

[8] Parlamento Europeo. "Direttiva 2005/32/CE del 6 luglio 2005 relativa all'istituzione di un quadro per l'elaborazione di specifiche per la progettazione ecocompatibile dei prodotti che consumano energia e recante modifica della direttiva 92/42/CEE del Consiglio e delle direttive 96/57/CE e 2000/55/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio".

[9] F Ardente, G. Beccali, M Cellura. "Eco-sustainable energy and environmental strategies in design for recycling: the software "ENDLESS". Ecological Modelling 163 (2003) 101–118.

[10] G. Beccali, M. Cellura,V. Lo Brano, A. Marvuglia. "A decision support system to compare different strategies for achieving the Italian Kyoto Protocol commitment". Int. J. Nuclear Governance, Economy and Ecology, Vol. 2, n°1, 2008

[11] Wagner HJ, 1995."Ermittlung des Primaerenergieaufwanfes und Abschaetzung der Emissionen zur Herstellung und zum Betrieb von ausgewaehlten Absorberanlangen zur Schimmbadwasserwaer-mung und von Solarkollectoranlangen zur Brauchwassererwaermung".VDI Berichte, Reihe 6, n325.

[12] F. Ardente, G. Beccali,M. Cellura, V. Lo Brano. "Life cycle assessment of a solar thermal collector". Renewable Energy 30 (2005) 1031–1054.

[13] Mirasgedis S., Diakoulaki D. Assimacopoulos D. "Solar Energy and the Abatement of Atmospheric Emissions", Renewable Energy, Vol. 7 n°4, 1996, pp 329-338

[14] R. H. Crawford, G. J. Treloar, "Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia", Solar Energy 76 (2004) 159–163

[15] G. Tsilingiridis , G. Martinopoulos, N. Kyriakis, "Life cycle environmental impact of a thermosyphonic domestic solar hot water system in comparison with electrical and gas water heating", Renewable Energy, 29 (2004) 1277–1288.

[16] I. Andresen, M. Thyholt, S. Geissler, B. Rappl. Sustainable Use of Aluminium in Buildings. Overview of Research Studies. European Aluminium Association. Dec. 2001

[17] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura. "Life-cycle balances of Solar Cooling Systems". Report of the International Energy Agency Task 38 "Solar Air Conditioning and Refrigeration",March 2009

[18] Vasilis M. Fthenakisa,b,_, Hyung Chul Kim. "Greenhouse-gas emissions from solar electric- and nuclear power: A life-cycle study. Energy Policy 35 (2007) 2549–2557.

[19] Lenzen M., Munksgaard J,. Energy and CO2 life-cycle analyses of wind turbines. Review and applications. Renew Energy 2002;26:339–62.

[20] F. Ardente, M. Beccali, M. Cellura, V. Lo Brano. Energy performances and life cycle assessment of an Italian wind farm. Renewable & Sustainable Energy Rev. 12(2008) 200–217.

[21] L. Gagnon, C. Bielanger, Y. Uchiyama. Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. Energy Policy 30 (2002) 1267–1278.

[22] Take Care. "Project "Database to support LCA of energetic sources. CASE STUDY – Final Report about phase C of the Project Plan". July 1999.(data source: ETH – Oekoinventare von Energiesystemen, 3rd version 1996 – Tab. VII.9.51).

INIZIATIVE E PERCORSI NORMATIVI VERSO LA SOSTENIBILITÀ IN EDILIZIA

Monica Lavagna (monica.lavagna@polimi.it)
Politecnico di Milano, Dipartimento BEST

ABSTRACT

In Italia gli operatori del settore edilizio (sia in ambito privato, sia in ambito pubblico) esprimono il bisogno di avere a disposizione strumenti di certificazione ambientale degli edifici, per poter andare oltre alla sola certificazione energetica. Sono ancora in via di definizione strumenti nazionali contestualizzati e proliferano le iniziative sia in sede istituzionale sia di associazioni ed enti privati. L'integrazione dell'approccio al ciclo di vita e del metodo LCA in tali strumenti è ancora poco attuata, e soprattutto mancano adeguati criteri ambientali di orientamento nella scelta di materiali e prodotti edilizi. Le valutazioni LCA sviluppate nell'ambito della ricerca possono costituire un valido supporto per definire criteri ambientali, in ambito sia normativo sia volontario.

1. Introduzione

Nel settore delle costruzioni, dopo l'affermazione ormai diffusa e pervasiva del tema dell'efficienza e risparmio energetico, l'attenzione si sta ora spostando verso il tema della sostenibilità ambientale, come necessario allargamento degli obiettivi verso una efficace riduzione della pressione antropica sull'ambiente e percorso di qualificazione del costruito.

Come avvenuto per la questione energetica, così anche rispetto al tema ambientale si possono individuare due percorsi: da un lato la spinta normativa, senza la quale probabilmente il tema ambientale non verrebbe nemmeno affrontato, e dall'altro l'iniziativa privata, volta a promuovere la valorizzazione (anche economica) del costruito di qualità. Dunque obblighi normativi volti a migliorare l'intero comparto e approccio volontario rivolto a valorizzare i percorsi più virtuosi.

In questo duplice binario, che genera iniziative diversificate, si stanno attivando molteplici percorsi, a tratti complementari, a tratti sovrapposti, a tratti in competizione. La molteplicità di approcci, interpretazioni, metodi di verifica che ne deriva, pur contribuendo su più livelli a introdurre e avviare un percorso di sostenibilità in edilizia, rischia anche di ingenerare confusione e disorientamento nei progettisti, un po' come è avvenuto e sta avvenendo in Italia anche rispetto al tema della certificazione energetica, così frammentata territorialmente; con l'aggravante che il tema della progettazione ambientale costituisce già un tema complesso, molto più articolato della gestione energetica, e dunque sfuggente negli esiti.

La valutazione LCA in questo quadro è ancora ai margini, nonostante sia forse l'unico orizzonte possibile per una valutazione ambientale oggettiva e condivisa. La motivazione è da ricercarsi nella difficoltà di accesso ai dati ambientali (manca a tutt'oggi una banca dati italiana, anche se è in corso di elaborazione da parte dell'ITC-CNR una "banca dati nazionale LCA di materiali e prodotti per l'edilizia"), nella scarsità di dati primari disponibili (veicolati per esempio dalle etichette di prodotto come l'EPD), nella complicatezza del metodo (se utilizzato in valutazioni approfondite), nella rarità di operatori competenti (soprattutto nelle sedi decisionali). Anche nei casi in cui si parla di approccio al "ciclo di vita", normalmente si intende l'adozione "filosofica" del termine (*Life Cycle Thinking*), volta a introdurre uno sguardo allargato a tutte le fasi del processo, ma senza mai arrivare a una valutazione di sintesi che metta a sistema il contributo di impatto delle diverse fasi.

La necessità di un approccio semplificato, che possa essere compreso dagli operatori e verificato dai controllori istituzionali, ha orientato verso l'uso, sia in ambito normativo sia in ambito volontario, di strumenti a *check-list* (*framework*), come gli strumenti di valutazione a punteggio o l'Ecolabel, costruiti sulla base di un elenco molto articolato di criteri-requisiti ambientali da soddisfare per ottenere punti premio (nel caso degli strumenti a punteggio) o da rispettare obbligatoriamente (requisiti minimi) per accedere alla certificazione (nel caso dell'Ecolabel degli edifici).

L'idea di poter avere a disposizione un percorso guidato (espresso da un elenco di criteri espliciti) rasserena gli operatori, permettendo di dare una risposta facile a un tema complesso come quello ambientale. Col rischio però di orientare marcatamente il mercato verso scelte precise, tipiche di uno strumento chiuso e definito come una *check-list*. La richiesta da parte degli operatori di indicazioni precise (una sorta di linea guida di progettazione), spesso si traduce in un elenco di azioni prescrittive che si allontanano da un approccio prestazionale e dalla verifica che l'applicazione di tali azioni dia il risultato atteso. In particolare risulta fortemente marginalizzata la componente progettuale e di scelta tecnico-costruttiva: il rischio è di irretire il progetto in una ingegnerizzazione del processo edilizio, dove a ogni problema corrisponde una risposta giusta, spesso preconfezionata, senza più spazio alla sperimentazione e alla innovazione.

2. Environmental Assessment Frameworks and Rating Systems

Il tema della certificazione ambientale di edificio nasce sotto l'impulso dei costruttori, che manifestano l'esigenza di poter dimostrare ai futuri utenti-acquirenti la maggiore qualità delle loro realizzazioni. In un mercato caratterizzato dalla ricerca di riduzione massima dei costi per ottimizzare i guadagni, e di conseguenza dalla scarsa qualità sia nella scelta dei materiali-prodotti sia nella messa in opera (spesso affidata a operatori non esperti e non specializzati), gli edifici si sono caratterizzati per essere poco pensati rispetto al loro ciclo di vita: poca attenzione al risparmio energetico, all'efficienza degli impianti, alla produzione di energia da fonti rinnovabili, a sistemi di risparmio e recupero dell'acqua, alla durata dei materiali, alla gestione della manutenzione, alla salubrità e comfort degli spazi.
La deresponsabilizzazione dei costruttori rispetto alla vita delle loro opere non ha promosso percorsi virtuosi, soprattutto in una prospettiva ambientale.
Gli operatori più virtuosi, che costruiscono con attenzione rispetto ai benefici ottenibili in fase di gestione dell'edificio, investendo in tecnologie, impianti, materiali e prodotti di qualità e performanti, hanno cominciato a esprimere la necessità di poter comunicare i vantaggi e le migliori performances degli edifici da loro costruiti (che spesso hanno costi di costruzione più alti). Non si tratta sempre di un reale interesse ambientale, ma più spesso di uno strumento per cercare di vendere a maggior costo le proprie costruzioni, dimostrando agli acquirenti le migliori prestazioni offerte dall'edificio; l'obiettivo dei costruttori è di avere a disposizione uno strumento di marketing, che permetta una concorrenza sul mercato basata sulla qualità.
I primi a dare risposta a questa esigenza sono stati gli inglesi e gli americani, con strumenti di certificazione ambientale degli edifici (*Green Building Rating Systems*), rivolti in un primo momento agli edifici commerciali e per uffici, dove l'utilizzatore-acquirente esprime l'esigenza di avere garanzia di ridotti costi ed efficienza di gestione, ma anche di qualità degli spazi destinati al lavoro per una maggiore produttività degli impiegati. Il successo ottenuto dalle certificazioni, la loro diffusione e affermazione sul mercato, ha portato ad allargare le destinazioni funzionali oggetto di etichettatura, estendendo le certificazioni alle residenze e ad altre attività.
Il primo strumento di certificazione ambientale è stato il Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM), sviluppato dal BRE (un ente di ricerca pubblico) in Gran Bretagna a partire dal 1988. La diffusione e notorietà acquisita negli ultimi dieci anni dal BREEAM in Inghilterra ha orientato il governo ad adottarlo come strumento per la definizione del "Code for Sustainable Homes", trasferendo dunque quello che è nato come strumento volontario in un vero e proprio documento normativo. Il Code non sostituisce il BREEAM, che rimane la certificazione adottata "volontariamente" dagli operatori sul mercato, ma ne ricalca la struttura e ne trae una serie di criteri, introducendoli inizialmente come volontari (rispettati i quali si accede a incentivi) con la prospettiva di renderli cogenti nel lungo periodo.
Il Code introduce un percorso di riduzione degli impatti delle costruzioni funzionale a raggiungere l'obiettivo governativo di realizzare, entro il 2016, tutti gli edifici di nuova costruzione *carbon neutral*, ossia "a zero emissioni" (in loco, in fase d'uso).

THE CODE FOR SUSTAINABLE HOMES

FINAL CERTIFICATE
(Issued at the Post Construction Stage)

ISSUED TO:
Test House, 1 Test Street,
Test Town, Test Country
TE1 ST1

The sustainability of this home has been independently assessed at the Post Construction Stage and has achieved a Code rating of 5 out of 6 stars under the April 2007 version.

The next page sets out how this home achieved its rating in the nine categories.

Code Service Provider Logo

THE CODE FOR SUSTAINABLE HOMES

FINAL CERTIFICATE
(Issued at the Post Construction Stage)

What Your Code Star Rating Means

How this home scored

Category
Energy
Water
Materials
Surface Water Run-off
Waste
Pollution
Health & Wellbeing
Management
Ecology

Code Service Provider Logo

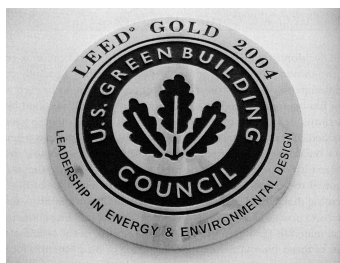
Fig. 1 – *Esempio di certificato ambientale ottenibile tramite il Code for Sustainable Homes*

Occorre sottolineare che questo obiettivo costituisce solo un'anticipazione di quella che è diventata una vera e propria cogenza europea: il Parlamento Europeo ad aprile ha votato una modifica alla Direttiva CE/91/2002 sul rendimento energetico in edilizia, introducendo una nuova disposizione che obbliga, a partire dal 31 dicembre 2018, a costruire edifici in grado di produrre da fonti rinnovabili tanta energia quanta ne consumano (*zero emission building*). Un obiettivo ambizioso e non privo di criticità soprattutto in un bilancio di ciclo di vita: l'energia necessaria per produrre i materiali, le tecnologie, gli impianti viene trascurata nel bilancio energetico e di emissioni contemplato dalla normativa, senza dunque un controllo sulla reale efficacia ambientale di tale obiettivo.

In America le normative sono meno restrittive e soprattutto mancano norme sul risparmio energetico. Questo è uno dei motivi del successo del LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), che permette di accedere a una certificazione ambientale che garantisce anche ridotti costi di gestione energetica, in un paese dove i consumi di gestione sono molto elevati. Il LEED è stato sviluppato a partire dal 1993 dal United State Green Building Council (USGBC), una organizzazione non governativa che comprende molti esponenti dell'industria, della ricerca e del governo. Proprio quest'anno è uscita una versione aggiornata dello strumento, che introduce il sistema di pesatura prima assente. Una innovazione necessaria per non sommare "mele con pere", attribuendo un valore diverso ai vari criteri, come avviene in tutti gli altri sistemi a punteggio. Anche se la pesatura è un elemento di forte criticità, poiché può essere manipolato politicamente, anziché regolato sulla base di competenze scientifiche e valutazioni tecniche.

Per ottenere la certificazione LEED occorre farsi affiancare durante il progetto da un LEED Accreditated Professional, un professionista abilitato dal LEED che suggerisce strategie di progettazione per ottenere i punti premio, elabora le valutazioni necessarie a dimostrare le prestazioni dell'edificio e ottenere i punti premio, raccoglie la documentazione necessaria da inviare all'ente americano che rilascia la certificazione.

In Italia, sono state per prime le Pubbliche Amministrazioni a manifestare l'esigenza (per aderire ai processi di Agenda 21) di inserire nei regolamenti edilizi criteri di sostenibilità per gli interventi sul territorio, di definire criteri ambientali per l'assegnazione di "premi" di volumetria o incentivi alle costruzioni sostenibili e di avere strumenti di valutazione per la verifica del soddisfacimento di tali criteri e la stesura di graduatorie di merito. Proprio l'Associazione delle Regioni italiane, riunite nell'ambito di ITACA (Istituto per la Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale), ha elaborato il Protocollo Itaca.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL — LEED — USGBC

LEED for New Construction v2.2

Proximity Hotel
Project # 10002205
Certification Level: PLATINUM
October 8, 2008

55 Points Achieved — Possible Points: 69

Certified 26 to 32 points — Silver 33 to 38 points — Gold 39 to 51 points — Platinum 52 or more points

12	Sustainable Sites	Possible Points: 14	
Y			
Y	Prereq 1	**Construction Activity Pollution Prevention**	
1	Credit 1	**Site Selection**	1
1	Credit 2	**Development Density & Community Connectivity**	1
	Credit 3	**Brownfield Redevelopment**	1
1	Credit 4.1	**Alternative Transportation**, Public Transportation Access	1
1	Credit 4.2	**Alternative Transportation**, Bicycle Storage & Changing Rooms	1
1	Credit 4.3	**Alternative Transportation**, Low-Emitting & Fuel-Efficient Vehicles	1
1	Credit 4.4	**Alternative Transportation**, Parking Capacity	1
1	Credit 5.1	**Site Development**, Protect or Restore Habitat	1
1	Credit 5.2	**Site Development**, Maximize Open Space	1
1	Credit 6.1	**Stormwater Design**, Quantity Control	1
1	Credit 6.2	**Stormwater Design**, Quality Control	1
	Credit 7.1	**Heat Island Effect**, Non-Roof	1
1	Credit 7.2	**Heat Island Effect**, Roof	1
1	Credit 8	**Light Pollution Reduction**	1

4	Water Efficiency	Possible Points: 5	
Y			
1	Credit 1.1	**Water Efficient Landscaping**, Reduce by 50%	1
1	Credit 1.2	**Water Efficient Landscaping**, No Potable Use or No Irrigation	1
	Credit 2	**Innovative Wastewater Technologies**	1
1	Credit 3.1	**Water Use Reduction**, 20% Reduction	1
1	Credit 3.2	**Water Use Reduction**, 30% Reduction	1

16	Energy & Atmosphere	Possible Points: 17	
Y			
Y	Prereq 1	**Fundamental Commissioning of the Building Energy Systems**	
Y	Prereq 2	**Minimum Energy Performance**	
Y	Prereq 3	**Fundamental Refrigerant Management**	
1	Credit 1.1	**Optimize Energy Performance**, 10.5% New / 3.5% Existing	1
1	Credit 1.2	**Optimize Energy Performance**, 14% New / 7% Existing	1
1	Credit 1.3	**Optimize Energy Performance**, 17.5% New / 10.5% Existing	1
1	Credit 1.4	**Optimize Energy Performance**, 21% New / 14% Existing	1
1	Credit 1.5	**Optimize Energy Performance**, 24.5% New / 17.5% Existing	1
1	Credit 1.6	**Optimize Energy Performance**, 28% New / 21% Existing	1
1	Credit 1.7	**Optimize Energy Performance**, 31.5% New / 24.5% Existing	1
1	Credit 1.8	**Optimize Energy Performance**, 35% New / 28% Existing	1
1	Credit 1.9	**Optimize Energy Performance**, 38.5% New / 31.5% Existing	1
	Credit 1.10	**Optimize Energy Performance**, 42% New / 35% Existing	1
1	Credit 2.1	**Renewable Energy**, 2.5%	1
1	Credit 2.2	**Renewable Energy**, 7.5%	1
1	Credit 2.3	**Renewable Energy**, 12.5%	1
1	Credit 3	**Enhanced Commissioning**	1
1	Credit 4	**Enhanced Refrigerant Management**	1
1	Credit 5	**Measurement & Verification**	1
1	Credit 6	**Green Power**	1

6	Materials & Resources	Possible Points: 13	
Y			
Y	Prereq 1	**Storage & Collection of Recyclables**	
	Credit 1.1	**Building Reuse**, Maintain 75% of Existing Walls, Floors, & Roof	1
	Credit 1.2	**Building Reuse**, Maintain 95% of Existing Walls, Floors, & Roof	1
	Credit 1.3	**Building Reuse**, Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements	1
1	Credit 2.1	**Construction Waste Management**, Divert 50% from Disposal	1
1	Credit 2.2	**Construction Waste Management**, Divert 75% from Disposal	1
	Credit 3.1	**Materials Reuse**, 5%	1
	Credit 3.2	**Materials Reuse**, 10%	1
1	Credit 4.1	**Recycled Content**, 10%	1
1	Credit 4.2	**Recycled Content**, 20%	1
1	Credit 5.1	**Regional Materials**, 10%	1
1	Credit 5.2	**Regional Materials**, 20%	1
	Credit 6	**Rapidly Renewable Materials**	1
	Credit 7	**Certified Wood**	1

12	Indoor Environmental Quality	Possible Points: 15	
Y			
Y	Prereq 1	**Minimum IAQ Performance**	
Y	Prereq 2	**Environmental Tobacco Smoke** (ETS) **Control**	
1	Credit 1	**Outdoor Air Delivery Monitoring**	1
1	Credit 2	**Increase Ventilation**	1
1	Credit 3.1	**Construction IAQ Management Plan**, During Construction	1
	Credit 3.2	**Construction IAQ Management Plan**, Before Occupancy	1
1	Credit 4.1	**Low-Emitting Materials**, Adhesives & Sealants	1
1	Credit 4.2	**Low-Emitting Materials**, Paints & Coatings	1
1	Credit 4.3	**Low-Emitting Materials**, Carpet Systems	1
	Credit 4.4	**Low-Emitting Materials**, Composite Wood & Agrifiber Products	1
	Credit 5	**Indoor Chemical & Pollutant Source Control**	1
1	Credit 6.1	**Controllability of Systems**, Lighting	1
1	Credit 6.2	**Controllability of Systems**, Thermal Comfort	1
1	Credit 7.1	**Thermal Comfort**, Design	1
1	Credit 7.2	**Thermal Comfort**, Verification	1
1	Credit 8.1	**Daylight & Views**, Daylight 75% of Spaces	1
1	Credit 8.2	**Daylight & Views**, Views for 90% of Spaces	1

5	Innovation & Design Process	Possible Points: 5	
Y			
1	Credit 1.1	**Innovation in Design**: EQ8.2	1
1	Credit 1.2	**Innovation in Design**: Green Building Education	1
1	Credit 1.3	**Innovation in Design**: SSc5.2	1
1	Credit 1.4	**Innovation in Design**: MRc5	1
1	Credit 2	**LEED® Accredited Professional**	1

Fig. 2 – *Esempio di certificato ambientale LEED*

Le Regioni Italiane hanno cominciato a utilizzare questo strumento, in maniera volontaria, per incentivare l'edilizia sostenibile tramite premi di volumetria e sgravi sugli oneri di urbanizzazione. Il Protocollo Itaca è la contestualizzazione dello strumento internazionale SBtool, *Sustainable Building Method*). Itaca non è un organismo attualmente in grado di rilasciare certificazioni, per cui è Iisbe Italia l'organismo che in questo momento sta gestendo le certificazioni. Con il Protocollo Itaca (versione sintetica) sono stati rilasciati "attestati" di sostenibilità, da parte di Iisbe Italia, in relazione al Piano Casa della Regione Piemonte (10.000 alloggi entro il 2012). Ma non si tratta ancora di vere e proprie certificazioni: in questo caso la certificazione sarà emessa dalla Regione Piemonte. Sicuramente Itaca e il Sustainable Building Council Italia (SBC Italia) costituiscono il riferimento privilegiato degli enti pubblici e in particolare delle Regioni italiane.

Ulteriore percorso in atto in Italia è la definizione dei criteri per un Ecolabel Europeo degli edifici. La Direzione Ambiente della Comunità Europea, su sollecitazione dell'APAT italiana (ora I-SPRA), ha avviato le procedure di definizione di un marchio di qualità ecologica (Ecolabel europeo) degli edifici, dando mandato all'Italia di definire i criteri. Esistono già esperienze all'estero di Ecolabel nazionali degli edifici: in particolare la Danimarca ha realizzato un Ecolabel per le *small house*.

L'impostazione dell'Ecolabel prevede la fissazione di soglie prestazionali sui singoli indicatori, rispettate le quali si accede alla certificazione ambientale Ecolabel. Ma è molto complesso stabilire soglie valide a livello internazionale e valide per tutte le differenti tipologie di edifici.

Design target scores for Seoul Hirise, Seoul, Korea

Predicted performance results based on information available during Design Phase — *Active Phase (set in Region file)*: **Design Phase**

Relative Performance Results

0 = Acceptable Practice; 3 = Good Practice; 5 = Best Practice

Design Phase scores indicate Potential Performance as predicted by an assessment of building features and plans for construction and operation that are developed during the design process.

Project Information

This is a New construction project with a total gross area of 16323 m2. It has an estimated lifespan of 75 years, and contains the following occupancies: Apartment and Indoor parking and is located in Seoul, Korea. The assessment is valid for the Design Phase.

Assumed life span is 75 years, and monetary units are in Won

Amortization rate for embodied energy of existing materials is set at 5 %

The project contains 148 apartment units

Design target scores

With current context and building data, the number of active low-level parameters is:	**104**	Max. potential low-level parameters:	**115**
The number of active low-level mandatory parameters with a score of less than 3 is:	**4**	Active low-level mandatory parameters:	**8**

	To see a full list of Issues, Categories and Criteria, go to the Issues worksheet.	Active Weights	Weighted scores
A	Site Selection, Project Planning and Development	8%	**2.9**
B	Energy and Resource Consumption	23%	**2.4**
C	Environmental Loadings	27%	**3.3**
D	Indoor Environmental Quality	18%	**3.2**
E	Service Quality	16%	**2.7**
F	Social and Economic aspects	5%	**3.2**
G	Cultural and Perceptual Aspects	3%	**3.5**
	Total weighted building score		**3.0**

Fig. 3 – *Esempio di risultati della valutazione SBtool*

3. I criteri ambientali sui materiali e prodotti edilizi

Tutti gli strumenti illustrati finora risultano fortemente criticabili nelle parti destinate a orientare la scelta dei materiali e le soluzioni tecnico-costruttive. Tendono infatti a voler esprimere un giudizio di ecologicità dei prodotti e dei materiali a prescindere dal progetto.
Il BREEAM ha una struttura complessa, completa, ben articolata. Ma viene data ai progettisti una Green Guide, dove sono elencate le principali soluzioni tecnico-costruttive affiancate da una valutazione (A+, A, B, C, D). Tale valutazione deriva da valutazioni LCA realizzate su un metro quadrato di involucro, considerando come unità funzionale comune la prestazione di trasmittanza termica. Il progettista si trova così a essere fortemente vincolato a scegliere determinate soluzioni costruttive, per poter accedere a una valutazione alta e dunque a un punteggio premiante. Ma ci si domanda se è questo l'obiettivo corretto: viene operata una valutazione generica per "categorie" di prodotto (arrivando a dire se è preferibile l'uso di acciaio, legno o calcestruzzo) e si omette di indicare spessori, caratteristiche tecniche e prestazionali dei materiali e prodotti considerati. La Green Guide illustra delle soluzioni astratte, descritte come serie di strati di materiali, indicando quale combinazione di strati e materiali è preferibile; si discriminano così i materiali, privilegiando un ambito materico rispetto a un altro, sulla base di valutazioni riferite a dati generici. Non si tiene conto che ciascun prodotto, prodotto in uno stabilimento diverso, può essere più o meno performante (prestazioni termiche, acustiche, di durata, di resistenza meccanica, di salubrità) e più o meno energivoro e impattante nella sua realizzazione.
Il LEED premia i materiali locali, i materiali riciclati, i materiali rinnovabili, prevedendo l'assegnazione di punti a ogni criterio rispettato. Nel caso di materiali locali, l'aspetto critico è quello di basarsi solamente sulla distanza, e non sulle tonnellate per chilometro in relazione al tipo di trasporto (come invece avviene nelle valutazioni LCA). Occorre infatti sottolineare che gli impatti ambientali variano enormemente in relazione al tipo di mezzo di trasporto (su gomma, su nave, su ferro) e alle dimensioni del mezzo di trasporto (un camion da 16 t impatta il doppio rispetto a un camion da 40 t a parità di carico trasportato). Inoltre gli impatti dipendono dal peso di ciò che trasporto: trasportare il cemento (2.200 kg/m^3) entro un raggio di 100 km è comunque più impattante rispetto a trasportare il legno (400 kg/m^3) da 200 km. Dunque parlare solo di chilometraggio di provenienza non è sufficiente a garantire ridotti impatti ambientali.
Il LEED contiene uno specifico criterio relativo all'uso di legno proveniente da foreste certificate. Questo criterio, importante e corretto in una logica ambientale, non è adeguato a un elenco di criteri premiali: se un progetto non prevede l'uso di legno non potrà mai accedere a tale punto, e quindi l'inserimento di tale criterio induce i progettisti a inserire il legno nel progetto per poter accedere al punto premio (posso anche inserire solo una porta in legno certificato e ottengono il punto premio?).
Se con la stessa logica si inserissero come criteri anche che il calcestruzzo deve prevedere una percentuale di aggregati riciclati, che l'acciaio deve avere una percentuale prestabilita di materiale riciclato, che il laterizio deve essere porizzato con farina di legno di scarto delle segherie, si orienterebbero sempre i progetti a prevedere l'uso di tali materiali per accedere ai punti premio.
Queste considerazioni servono a mettere in evidenza che le scelte relative a materiali, prodotti, soluzioni tecnico-costruttive non possono essere orientate con "semplicità" da una serie di indicazioni generali come "rinnovabile", "riciclato", "locale", ma occorre operare valutazioni più complesse, basate sul metodo LCA.
Applicare valutazioni LCA ai singoli progetti non è operazione semplice. Dunque riuscire a tradurre le indicazioni scaturenti da studi LCA in criteri di orientamento generale risulta una operazione importante per orientare operatori e progettisti nelle scelte. Questo è l'approccio adottato in seno all'*Action Plan Sustainable Production and Consumption*: è stato dato mandato agli Stati Membri di individuare e definire criteri ambientali minimi per il *Green Public Procurement*, basati su studi LCA. I criteri, inseriti nei bandi e gare d'appalto, avranno carattere cogente; si tratta appunto di criteri "minimi" che si pongono l'obiettivo di orientare il mercato verso la selezione di prodotti meno impattanti. Senza discriminazioni tra materiali.
Vengono infatti definiti dei criteri selettivi, articolati nei diversi ambiti materici possibili per un determinato componente: per esempio, per i serramenti, uso di legno certificato *se* il serramento

è in legno, uso di alluminio con una certa percentuale di materiale riciclato *se* il serramento è in alluminio, assenza di sostanze pericolose *se* il serramento è in PVC.
Un ulteriore passo avanti è la possibilità di accedere a dati ambientali primari e al profilo ambientale di prodotto tramite EPD *(Environmental Product Declaration*): in questo caso il singolo produttore può mettere in evidenza il ridotto impatto ambientale del proprio specifico prodotto rispetto ai prodotti dello stesso comparto produttivo. Per esempio, se un produttore di laterizio produce energia da biomassa (energia rinnovabile) o adotta un impianto di cogenerazione, riduce drasticamente l'impatto ambientale riconducibile al suo prodotto rispetto agli altri laterizi. Se un pannello isolante in EPS viene prodotto a partire da materiale riciclato, gli impatti di produzione sono notevolmente inferiori allo stesso pannello isolante prodotto da materie prime. Questo consentirebbe di mettere in concorrenza verso l'innovazione ambientale non comparti materici concorrenti, ma i singoli produttori, premiando i più virtuosi. Per questo occorre uscire dai dati medi delle banche dati e puntare su una conoscenza specifica delle prestazioni ambientali dei singoli prodotti, valorizzando le *best practises* e l'uso delle *best available technologies*.

4. Conclusioni

L'uso di sistemi a punteggio e framework solo apparentemente risulta un percorso più semplice e virtuoso. In realtà la gestione del progetto si complica e risulta necessario introdurre una figura competente in materia di progettazione ambientale e certificazione ambientale. Tanto che il LEED prevede a tal scopo la figura del LEED Accreditated Professional, un professionista abilitato tramite un esame dal USGBC, capace di seguire la raccolta di documentazione necessaria a ottenere la certificazione, eseguire i calcoli per l'attribuzione dei punteggi (calcoli complessi, che devono rispettare le norme tecniche ASHRAE, che richiedono l'uso anche di software di simulazione specialistici), suggerire scelte progettuali in grado di migliorare la valutazione finale.
Se i criteri diventano più semplificati per poter essere accessibili a un progettista non esperto in materia, come per esempio accade con il Protocollo Itaca, il rischio è di una banalizzazione dei criteri e di un irrigidimento dello strumento di valutazione rispetto a soluzioni conosciute.
Un altro aspetto di forte criticità è cercare di ottenere un punteggio complessivo di sostenibilità a partire dalla somma di punteggi su singoli criteri. Si sommano in questo modo azioni del tutto diverse, spesso in conflitto, di importanza differente ai fini ambientali. E non si visualizza invece mai un risultato sintetico in termini di riduzione degli impatti (riduzione dei consumi di energia nell'intero ciclo di vita, riduzione delle emissioni nell'intero ciclo di vita ecc.).
Anche l'introduzione della pesatura è un aspetto fortemente critico: il processo di aggregazione e normalizzazione dei risultati porta a una inevitabile perdita di informazioni e a una diminuzione di trasparenza dei risultati; la pesatura rende manipolabile il risultato finale da parte di decisori politici e non da parte di decisori tecnici; la pesatura concentra in pochi criteri il ruolo chiave per ottenere un punteggio alto, rendendo trascurabili altri criteri ai fini della valutazione complessiva.
Per altro verso, l'imbarazzo da parte di chi si occupa di valutazioni quantitative, basate sull'intero ciclo di vita e su indicatori sintetici (LCA), è di comprendere la difficoltà di applicazione estesa di questo tipo di valutazioni, in quanto troppo complesse da gestire, troppo specialistiche per gli operatori, troppo criptiche nei risultati, rischiose se maneggiate da persone poco competenti che possono travisare dati di input e risultati finali. La valutazione LCA rimane per ora uno scenario utile alla ricerca per formulare indirizzi e indicazioni, per operare verifiche sui risultati.
Nello stesso tempo non appare sufficiente una integrazione tra strumenti che corrisponda semplicemente all'inserimento di criteri derivanti dalle indicazioni di studi LCA all'interno dei framework, perchè si perde la dimensione di sinteticità e si frammentano le questioni in una spalmatura di azioni.
Dovrebbe permanere l'obiettivo di poter visualizzare in maniera sintetica la spesa energetica nell'intero ciclo di vita (come somma delle energie di produzione, trasporto, uso, fine vita), anche se tale obiettivo può trovare base d'appoggio solo sulla diffusione dei dati (tramite la certificazione ambientale dei prodotti).

5. Il ruolo della Rete

La necessità di condividere ricerche e studi che abbiano applicato il metodo LCA alla scala dei prodotti edilizi, alla scala degli edifici, al processo edilizio, a fasi specifiche del processo (come quella del cantiere), diventa strumento indispensabile per accrescere la conoscenza sul comportamento ambientale delle attività edilizie; per illustrare approcci, metodi, obiettivi possibili; per avvicinare gli operatori del settore a questo metodo oggi poco conosciuto.
La rete ha trovato grande adesione nel suo insieme, anche perchè fonte di notizie e aggiornamenti su convegni ed eventi. Particolarmente rilevante è stata l'adesione al gruppo di lavoro che si occupa di Edilizia e climatizzazione, con una composizione eterogenea in quanto a formazione e attività di lavoro: architetti e ingegneri edili (più orientati e interessati alla progettazione e con una visione più generalista), ingegneri ambientali (più interessati al metodo e alle peculiarità di applicazione del metodo al settore), professionisti (che sperano di trovare spunti e informazioni utili per il loro lavoro), ricercatori (che sono attenti agli sviluppi e novità e vogliono essere informati).
Penso sia doveroso all'interno di questo testo raccogliere una breve presentazione dei lavori di ricerca e studio dei diversi partecipanti alla rete, che dia visibilità ai diversi percorsi di approfondimento e indagine, contribuendo a mettere in evidenza le difficoltà ancora esistenti nella costruzione di una conoscenza ambientale completa e condivisa in ambito edilizio.
Sarebbe auspicabile e interessante poter creare sul sito della Rete Italiana LCA una schedatura dei lavori in corso in Italia, una sorta di archivio di informazioni, anche solo nella maniera sintetica proposta nelle prossime pagine, in modo che chi si sta occupando di ricerche affini possa "incontrarsi" e chi è interessato ad approfondire l'informazione ambientale rispetto a specifici materiali o aspetti progettuali possa individuare le persone competenti ed esperte da contattare o le pubblicazioni da consultare.

Questionario rivolto al gruppo Edilizia e Climatizzazione. Lavori svolti e in corso

Monica Lavagna, ricercatore, Politecnico di Milano, Dip. BEST, UdR Space

Ricerche svolte o in corso su LCA di materiali/prodotti edilizi e soluzioni tecniche.

[1] "Prestazioni termiche ed energia incorporata dei materiali isolanti"

[2] "Prestazioni termiche ed energia incorporata di soluzioni tecniche di involucro tradizionali in laterizio"

[3] "Prestazioni termiche ed energia incorporata di soluzioni tecniche di involucro a umido e a secco"

Ricerche svolte o in corso su LCA di edifici o fasi del processo edilizio.

[1] "Energia per costruire ed energia per abitare"

[2] "Valutazione LCA di un edificio temporaneo in acciaio. Il caso studio del Campus Point a Lecco"

[3] "Analisi comparativa tra gli strumenti di valutazione ambientale a punteggio esistenti in ambito internazionale"

Pubblicazioni

[1] Lavagna M., "La valutazione ambientale degli edifici", in Bertoldini M., Campioli A., (a cura di), *Cultura tecnologica e ambiente*, Cittàstudi-De Agostini, Novara, 2009.

[2] Campioli A., Lavagna M., "The role of durability toward Sustainable Consumption and Production of architectures. LCA of a temporary building and eco-design strategies", *SETAC Proceedings of 15th LCA Case Studies Symposium*, 22-23 January 2009, Paris.

[3] Lavagna M., *Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*, Hoepli, Milano, 2008.

[4] Andrea Campioli, Monica Lavagna, "Acciaio e ciclo di vita. Valutazione LCA di un edificio temporaneo: il Campus Point di Lecco", in Luciano Morselli, a cura di, *Europa del recupero: le ricerche, le tecnologie, gli strumenti e i casi studio per una cultura della responsabilità ambientale, atti dei seminari di Ecomondo*, Maggioli, Rimini, 2008, pp. 519-525.

[5] Lavagna M., "Prestazioni termiche e profilo ambientale dei materiali isolanti", *Il Progetto Sostenibile*, n. 16, dic. 2007, pp. 68-75.

Sonia Longo, dottoranda di ricerca, Università degli Studi di Palermo

Ricerche svolte o in corso su LCA di materiali/prodotti edilizi e soluzioni tecniche.

[1] "LCA della tegole "coppo siciliano": confronto tra processo di produzione artigianale ed industriale"

[2] "LCA di un laterizio porizzato"

Ricerche svolte o in corso su LCA di edifici o fasi del processo edilizio.

[1] "LCA di un edificio mono-familiare in Sicilia"

Pubblicazioni

[1] G. Beccali, M. Cellura, M. Fontana, S. Longo, M. Mistretta, *Analisi del ciclo di vita di un laterizio porizzato*, La Termotecnica, Gennaio-Febbraio 2009, pp.84-89.

[2] G. Beccali, M. Cellura, F. Ardente, M. Fontana, S. Longo, *Energy and environmental analysis of a monofamiliar Mediterranean house*, World Sustainable Building (SB) Conference SB08, Melbourne (Australia) 21-25 settembre 2008.

[3] Cellura M., Amara O., Ardente F., Beccali M., Longo S., Mistretta M., *Analisi del ciclo di vita applicata alla produzione delle tegole "Coppi siciliani": confronto tra due processi produttivi*, Bioedilizia Italia Congresso Nazionale sull'Edilizia Sostenibile, Torino 6-7 giugno 2007.

Francesco Montefinese, consulente, studio professionale

Ricerche svolte o in corso su LCA di materiali/prodotti edilizi e soluzioni tecniche.

[1] "Caratteristiche prestazionali degli aggregati riciclati per rilevati e sottofondi stradali"

Pubblicazioni

[1] Montefinese F., "Le problematiche dei rifiuti inerti ed i vantaggi dal riutilizzo", *INNOVITALIA (Ambiente&Energia)* 16 maggio 2008, Pescara.

[2] Montefinese F., "*La gestione dei rifiuti in edilizia"*, Dario Flaccovio Editore srl, *in corso di pubblicazione.*

Carol Monticelli, assegnista di ricerca/progettista, Politecnico di Milano, Dip. BEST, UdR Space

Ricerche svolte o in corso su LCA di materiali/prodotti edilizi e soluzioni tecniche.

[1] "Individuazione del profilo ambientale di nuovi materiali applicati in architettura: il caso delle membrane di involucro in ETFE"

Ricerche svolte o in corso su LCA di edifici o fasi del processo edilizio.

[1] "Processo edilizio e qualità ambientale. Potenzialità a limiti della metodologia LCA applicata a soluzioni d'involucro sperimentali"

Pubblicazioni

[1] Monticelli C., "Sostenibilità ambientale e prodotti edilizi", in Bertoldini M., Campioli A., (a cura di), *Cultura tecnologica e ambiente*, Cittàstudi-De Agostini, Novara, 2009.

[2] Monticelli C., Neri P., "I metodi di valutazione degli impatti ambientali" e "La metodologia LCA per al valutazione ambientale di sistemi di involucro sperimentali applicati all'edificio Casa Famiglia per minori a Lodi", in Neri P. (edited by), *Verso la valutazione ambientale degli edifici. Life Cycle Assessment a supporto della progettazione eco-sostenibile*, Alinea, Firenze, 2008.

[3] Monticelli C., "L'influenza degli scenari di fine vita dei componenti edilizi nella valutazione del ciclo di vita degli edifici", in *Europa del recupero: le ricerche, le tecnologie, gli strumenti e i casi studio per una cultura della responsabilità ambientale – LCA&Innovazione in Italia buone prassi e casi di successo*, E-comondo, Rimini, 2008.

[4] Monticelli C., "Bilancio di facciata. Life cycle assessment", in *Costruire*, n.298, 2008.

[5] Monticelli C., "LCA of innovative high energy performance envelope", in *From analysis to implementation* 3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurigo, 27-29 august 2007.

Tiziana Susca, dottoranda di ricerca, Politecnico di Bari, Dipartimento di Architettura e Urbanistica.

Ricerche svolte o in corso su LCA di edifici o fasi del processo edilizio.

[1] "Valutazione LCA degli edifici: definizione e introduzione di indicatori analitici sintetici per la valutazione delle relazioni con l'intorno".

Pubblicazioni

[1] Susca T., "Valutazione LCA degli edifici: definizione e introduzione di indicatori analitici sintetici per la valutazione delle relazioni con l'intorno", in Cerolini S., Tassi, C., (a cura di), *Atti della giornata di studio: "L'attività di ricerca nel dottorato: Problematiche e metodi"*, Alinea Editrice s.r.l., Firenze, novembre 2007.

Marzia Traverso, ricercatore, Technische Universitaet Berlin

Ricerche svolte o in corso su LCA di materiali/prodotti edilizi e soluzioni tecniche.

[1] "Analisi del ciclo di vita degli infissi in alluminio"

[2] "Analisi del ciclo di vita e applicazione dei criteri Ecolabel al marmo: Il perlato di Sicilia"

[3] "Analisi del ciclo di vita e applicazione del marchio ecolabel alla pietra Lavica"

[4] "Integrazione degli Indicatore Sociali nell'analisi del ciclo di vita e applicazione al marmo".

Pubblicazioni

[1] Traverso M. and Finkbeiner M., 2009. *Life Cycle Sustainability Dashboard*. Accepted for the 4th International Conference on Life Cycle Management, 6-9 September 2009. Cape Town, South Africa.

[2] Liguori V., Rizzo G., Traverso M, 2008. *Marble quarrying: an energy and waste intensive activity in the production of building materials*. WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol. 108, pp. 197-207. Proceedings of the Second International Conference on Environmental Economics and Assessment, Cadiz, Spain, 28-30 May, 2008. Athenaeum Press Ltd, Great Britain, 2008.

[3] Traverso M., Rizzo G. and Capitano C., 2008. *L'analisi del ciclo di vita del marmo: un questionario per un'indagine preliminare di settore*. Proceeding of the ECOMONDO 2008 – 12th International Trade Fair of material & Energy Recovery and Sustainable Development, presented and award-winning in the poster session of the conference "LCA&ECOINNOVAZIONE in Italia: buone prassi e casi di successo", 5 – 8 November 2008, Rimini, Italy.

[4] Traverso M. and Raimondi C., 2007. *Caso studio: Audit Energetico-Ambientale del Marmo*, Edited in Italian handbook, *Il Nuono Manuale Europeo di Bioarchitettura, Valutazioni e Certificazioni Ambientali – Materiali e Costruzioni*, Gruppo Mancosu Editore, Roma, 2007.

[5] Gangemi M., La Gennusa M., Rizzo G., Traverso M., 2006. *L'impatto ambientale dei profilati in alluminio: una metodologia di analisi in campo*. Edited in Italian scientific magazine Ingegneria Ambientale, vol. XXXVI n. 4 aprile 2007, Milano CIPA ISSN 03945871.

IL MARCHIO ECOLABEL APPLICATO AGLI EDIFICI

Gianfranco Rizzo (gfrizzo@ unipa.it), Giorgia Peri
Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali. Università degli Studi di Palermo.
Viale delle Scienze. 90128 Palermo, Italy

ABSTRACT
Da qualche tempo, sia a livello europeo che degli altri paesi industrializzati, viene dedicata una grande attenzione alla qualità energetica e prestazionale degli edifici, per due ragioni fondamentali: da un lato, infatti, essi rappresentano un settore dell'economia caratterizzato da consumi energetici molto rilevanti a cui corrispondono rilasci inquinanti in atmosfera altrettanto rilevanti; dall'altro, considerando che la maggior parte della vita dell'uomo viene trascorsa all'interno di spazi confinati, è evidente che edifici di buona qualità contribuiscono a migliorare le condizioni di vita e di lavoro quotidiano.
Recentemente, è stata avanzata l'ipotesi di mettere a punto un marchio Ecolabel europeo per gli edifici. Tale marchio si riferirebbe ad un approccio integrale alle problematiche ambientali legate alla costruzione, all'uso e allo smaltimento dei materiali utilizzati negli edifici, nell'ambito del loro intero ciclo di vita, in grado di recepire anche l'importanza delle prestazioni indoor,aspetto che costituisce il limite degli attuali strumenti di valutazione.

1. Introduzione

Il marchio Ecolabel [1] rappresenta uno degli strumenti più rilevanti per mezzo dei quali la politica comune dell'Unione contribuisce ad attuare uno sviluppo sostenibile. Infatti, lo schema EU per l'Ecolabel fa parte di un più vasto approccio, finalizzato a migliorare la qualità ambientale di beni e servizi, riducendone gli impatti ambientali associati ad ogni fase del ciclo di vita, nell'ottica della cosiddetta "Integrated Product Policy" (IPP) [2].
D'altro canto, l'Unione Europea, nella consapevolezza dell'importanza che il settore dell'edilizia riveste nella vita economica e sociale dei popoli, sta intraprendendo un importante sforzo, anche economico, mirato alla riduzione dei consumi di energia per la climatizzazione degli edifici e ad un migliore controllo delle prestazioni ambientali complessive di questo importante settore produttivo. In tal senso, la direttiva 2002/91/CE [3], recentemente emanata, sull'efficienza energetica degli edifici costituisce il più importante esempio delle azioni messe in atto. Essa, oltre all'ovvio riferimento alle problematiche energetiche, contiene alcuni importanti richiami alle performance ambientali degli edifici, sebbene queste vengano essenzialmente considerate come una ricaduta del comportamento energetico dell'edificio. In questo contesto, un nuovo approccio si sta facendo strada tra i tecnici del settore, che cerca di considerare in maniera integrata la performance energetica ed ambientale degli edifici.
A tal riguardo, il Ministero italiano per le Attività Produttive (MAP), su mandato della Commissione europea, è attualmente impegnato nel tentativo di definire i criteri per l'attribuzione del marchio Ecolabel agli edifici.
Sullo sfondo di queste iniziative, il presente studio vuole illustrare la possibilità di pervenire ad uno schema Ecolabel per gli edifici, a partire dai risultati degli schemi già in uso per settori simili. In particolare, lo schema Ecolabel messo a punto per il servizio di ricettività turistica è qui considerato come lo strumento-guida verso la definizione di uno schema analogo per gli edifici, data la sua ben riconosciuta flessibilità ed agevole applicabilità anche da parte di soggetti di competenze non espressamente tecniche.

2. Ecolabel EU: il marchio di qualità ambientale europeo per prodotti e servizi

L'etichetta ecologica europea è stata introdotta in Europa nel 1992 con l'adozione del Regolamento europeo n. 880/92 [4], successivamente aggiornato con il nuovo Regolamento n. 1980 del 17 luglio 2000 [1].

Con la Decisione n. 287 del 2003 [5], con cui la Commissione Europea ha ufficialmente esteso l'applicabilità dell'etichetta ecologica europea ai servizi di ricettività turistica, l'Ecolabel EU può essere richiesto e assegnato anche alle strutture turistiche. A distanza di due anni, con la Decisione 2005/338/CE del 14 aprile 2005 [6], sono stati inseriti anche i campeggi tra le strutture turistiche che possono accedere all'Ecolabel EU.
Nel sito europeo riguardante l'Ecolabel EU (http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/), ne viene fornita sinteticamente la definizione: "The EU eco-label scheme is a voluntary scheme designed to encourage businesses to market products and services that are kinder to the environment and for European consumers – including public and private purchasers – to easily identify them".
I prodotti e servizi che soddisfano i criteri dell'Ecolabel sono facilmente riconoscibili da parte dei consumatori dal caratteristico "fiore", che riproduce la simbologia dell'UE (Fig. 1).

Fig. 1 – *Logo rappresentativo del marchio Ecolabel EU*

Lo schema EU per l'Ecolabel fa parte di un approccio, finalizzato a migliorare la qualità ambientale di beni e servizi, riducendone gli impatti ambientali associati ad ogni fase del ciclo di vita, concernente la cosiddetta "Integrated Product Policy" (IPP) [2].
Tale marchio ecologico si identifica in un'etichetta ecologica di Tipo I [7]. Si tratta dunque di un marchio che attesta l'eccellenza ambientale di un prodotto o di un servizio rispetto ad altri dello stesso tipo, sulla base della verifica eseguita da un organismo indipendente rispetto alla conformità del prodotto stesso a dei criteri ecologici e prestazionali, stabiliti a livello europeo.

3. La qualità degli edifici e la sua valutazione

L'UE, introducendo la certificazione energetica degli edifici (strumento espressamente previsto dalla direttiva 2002/91/CE [3]), ha compiuto un fondamentale passo verso la valorizzazione di questo cruciale settore.
È però necessario tenere anche conto che l'edificio, in quanto somma di materiali e di sistemi tecnologici, esercita un impatto sull'ambiente outdoor durante il suo intero ciclo di vita [8].
Proprio in conseguenza di questa accresciuta consapevolezza dell'importanza della qualità degli edifici, si va facendo strada un nuovo approccio valutativo che tende a considerare in una maniera integrata le prestazioni ambientali ed energetiche degli edifici. Fra i molti esempi da citare al riguardo, risultano degne di nota le iniziative esistenti in ambito internazionale di schemi di certificazione (Stati Uniti [9], Giappone [10], Inghilterra [11] ecc.), insieme con i numerosi standard elaborati per la valutazione della sostenibilità dell'edilizia ed in particolare per i materiali da costruzione [12], da parte di organismi di normazione quali l'ISO ed il CEN.
Tra i possibili approcci alla valutazione integrata della qualità in edilizia, almeno con riferimento agli aspetti energetici ed ambientali, non vanno trascurati i metodi fondati sull'analisi del ciclo di vita dei materiali costituenti l'edificio, tenendo conto sia dell'involucro [13] che dell'impianto[14].
Ma occorre altresì sottolineare che la qualità energetica di un edificio non deve restare disgiunta da quella ambientale indoor, sia perchè i consumi di energia di un edificio sono direttamente influenzati dal livello di qualità degli ambienti interni, sia perché i necessari risparmi e le razionalizzazioni dei consumi energetici per la climatizzazione degli edifici devono comunque garantire la vivibilità ed il comfort degli ambienti.

In altri termini, si sta facendo strada un approccio progettuale e valutativo più avanzato che, riconoscendo ovviamente tutta la dovuta considerazione alla qualità strutturale, progettuale ed energetica degli edifici, non trascura il fatto che essi devono prima di tutto essere sede di prestazioni microclimatiche molto raffinate, per garantire un buon livello delle attività di vita e di lavoro agli occupanti [8]. Sintetizzando, si può affermare, che le prestazioni energetiche degli edifici andrebbero valutate solo a parità di "servizio finale" reso agli occupanti.

4. Verso un marchio Ecolabel per gli edifici

La consapevolezza della necessità di disporre di strumenti di analisi delle prestazioni energetiche degli edifici, insieme con quelle ambientali e di comfort, conduce a chiedersi se è possibile mettere a punto una procedura olistica, in grado di valutare in maniera complessiva gli edifici, cogliendone al contempo le prestazioni sia energetiche, che ambientali "outdoor" ed "indoor".
Il marchio europeo Ecolabel potrebbe rivelarsi molto efficace in questo intento. Infatti, da un lato, esso è uno strumento che considera gli impatti ambientali di un bene o di un servizio lungo l'intero ciclo di vita, indicandone le possibilità di miglioramento ambientale; mentre dall'altro lato, stabilisce altresì un livello prestazionale del bene o del servizio, fissandone i requisiti riguardanti l'idoneità a soddisfare le esigenze dei consumatori.
L'idoneità a soddisfare le esigenze dei suoi fruitori da parte del prodotto "edificio", si traduce principalmente nella capacità di garantire un'elevata (o quanto meno accettabile) qualità delle condizioni ambientali interne. Questo, com'è noto, si riverbera nella necessità di imporre dei limiti minimi alle condizioni termoigrometriche, di qualità dell'aria interna, visive ed acustiche.
Il rilievo attribuito dal marchio Ecolabel nell'ambito del suo schema valutativo al cosiddetto "fitness for use" può essere utilmente adoperato per delineare una procedura di certificazione ambientale degli edifici in grado di recepire anche l'importanza delle prestazioni indoor, che rappresenta il limite degli attuali strumenti di valutazione [15,16].

5. Uno studio per lo sviluppo dei criteri Ecolabel per gli edifici

Come detto, a livello europeo ci si sta adoperando per individuare i criteri per l'attribuzione del marchio Ecolabel EU agli edifici. A questo scopo, la Commissione europea ha dato mandato al Comitato Ecolabel-Ecoaudit, organismo competente italiano per la concessione del marchio Ecolabel europeo in Italia, ed all'APAT (oggi ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), supporto tecnico del Comitato, di mettere a punto criteri per la sua concessione, che siano in grado di fornire un giudizio integrato e sintetico sulle prestazioni complessive degli edifici. Il progetto nasce fondamentalmente dall'idea di affiancare una certificazione ambientale volontaria e complementare a quella energetica vigente, in recepimento della Direttiva 2002/91 del 16 Dicembre 2002 [3].
Il gruppo di lavoro ha inizialmente provveduto a formulare una proposta in merito alla possibilità di includere gli edifici tra i gruppi di prodotti candidati all'attribuzione del marchio, individuando come oggetto dello studio "*the buildings considered in their entirety, as well as small houses, new or existing, public or private, used for residential purpose and for use as offices*" [17].
Nel primo rapporto [18], redatto dal citato gruppo di lavoro, è riportata una rassegna degli schemi, attualmente disponibili a livello internazionale, per la certificazione ambientale degli edifici (con particolare attenzione alle iniziative rivolte agli edifici residenziali) e delle iniziative esistenti a livello comunitario concernenti l'edilizia sostenibile. Complessivamente, sono stati analizzati 633 criteri appartenenti ai diversi schemi di certificazione ed iniziative esistenti analizzati.
Il rapporto, inoltre, rivolge un'attenzione particolare alla valutazione della qualità ambientale interna degli edifici.
Nel secondo rapporto [19], del Marzo 2009, è riportato un possibile gruppo di 59 criteri (Tab. 1) sui quali occorrerà concentrare il lavoro futuro, in termini di individuazione dei limiti numerici. Tali criteri, selezionati come quelli maggiormente usati nelle principali iniziative oggi esistenti, sono stati distribuiti tra i diversi aspetti selezionati come candidati per lo sviluppo dei criteri Ecolabel EU per gli edifici.

CODE-ISSUES	Selected Simplified Criteria (n.)
A1 – Planning – Project	6
B1 – Emission to atmosphere	3
B2 – Emission to water	1
B5 – Indoor pollution	3
B6 – Impacts on site	1
B7 – Ecology	1
C1 – Energy	8
C2 – Materials	11
C3 – Waste management	2
C4 – water consumption and management	4
D1 – Health and well-being	5
D2 – Operation & Maintenance	6
D3 – Facilities provided	6
D4 – Fitness for use	2
Total	**59**

Tab. 1 – *Numero dei criteri semplificati, suddivisi tra i diversi aspetti prestazionali [20]*

Il gruppo di lavoro ha aggiunto a tali criteri ulteriori criteri, considerati significativi dal punto di vista ambientale. È stata dunque elaborata una tabella in cui è proposto un range di 90 criteri, per ciascuno dei quali è indicato sia lo specifico campo di applicazione (**N**: Nuovi edifici; **E+N**: Nuovi ed Esistenti edifici), sia la fase del ciclo di vita a cui si riferisce il criterio. Cioè:

A: Progetto, fase di costruzione;
B: Fase di esercizio;
C: Fase di fine vita.

6. Criteri per un marchio Ecolabel per gli edifici: critiche e proposte

Dall'analisi svolta sino ad oggi dal gruppo di lavoro europeo per la definizione dei criteri per l'attribuzione del marchio Ecolabel agli edifici emergono essenzialmente due considerazioni:

a) non appaiono sfruttati appieno i marchi Ecolabel già esistenti e destinati a categorie di edifici prossime a quelli residenziali e commerciali, cioè gli edifici per il turismo;
b) nonostante l'Ecolabel contenga una forte enfasi al "fitness for use", appare sinora sottovalutato il ruolo del comfort indoor percepito dagli occupanti.

Su entrambi questi aspetti si vuole qui portare un contributo, con due distinte proposte.
Da un lato si analizzerà la possibilità di usare il marchio Ecolabel per i servizi turistici come punto di partenza per la definizione dei criteri per l'Ecolabel degli edifici. Dall'altro lato si proporrà uno schema di valutazione che tenga in debito conto le prestazioni indoor degli edifici, con particolare riguardo a quanto emerge dal recente standard europeo EN 15251 [20].

6.1. Il marchio Ecolabel per il servizio di ricettività turistica come punto di partenza per la definizione dei criteri Ecolabel per gli edifici

Le riconosciute flessibilità e semplicità di applicazione di questo schema anche da parte di soggetti non esperti del settore e l'esistenza di problematiche comuni alle strutture ricettive e agli edifici residenziali, suggeriscono la possibilità di utilizzare tale schema [5] come punto di partenza per la definizione di un analogo schema per gli edifici.
Questa ipotesi di lavoro [21] consiste nel valutare la trasferibilità di alcuni dei criteri proposti per gli alberghi agli edifici residenziali e commerciali, adoperando così in parte lo schema proposto dal vigente marchio Ecolabel per i servizi di ricettività turistica [5].

MANUALE TECNICO PER L' ECOLABEL EUROPEO PER IL SERVIZIO DI RICETTIVITA' TURISTICA			
Sezione	*Criteri obbligatori*	*Criteri facoltativi*	*Finalità*
Energia	N° 1 ÷ N° 10	N° 38 ÷ N° 54	Ridurre il consumo di energia da fonti energetiche fossili
Acqua	N° 11 ÷ N° 20	N° 55 ÷ N° 61	Assicurare il risparmio di acqua potabile
Sostanze chimiche pericolose	N° 21 ÷ N° 22	N° 62 ÷ N° 66	Evitare un uso eccessivo di sostanze chimiche pericolose
Rifiuti	N° 23 ÷ N° 27	N° 67 ÷ N° 71	Limitare la produzione dei rifiuti a "monte" Ridurre la quantità di rifiuti da inviare allo smaltimento
Altri servizi	N° 28 ÷ N° 29	N° 72 ÷ N° 79	Garantire la qualità ambientale del servizio
Gestione generale	N° 30 ÷ N° 37	N° 80 ÷ N° 84	

Tab. 2 – *Struttura del manuale tecnico per l'Ecolabel EU per i servizi di ricettività turistica [22]*

Per procedere su un terreno concreto, si è stabilito di utilizzare lo schema, la procedura ed i criteri per l'attribuzione del marchio Ecolabel Europeo ai servizi di ricettività turistica, contenuto nel manuale tecnico proposto dalla U.E. [22], in seguito alla Decisione 287/2003 [5]. La struttura del manuale è sinteticamente descritta in Tab. 2.
A partire da queste considerazioni, è stata condotta un'analisi critica dei criteri contenuti nel manuale [22], al fine di "intercettare" quelli che fanno riferimento a problematiche comuni agli edifici residenziali. Sono stati così individuati alcuni criteri direttamente trasferibili agli edifici ed altri criteri, legati al comportamento ed alle scelte dell'utenza, che appaiono più difficilmente trasferibili.
Risulta, infatti, del tutto evidente che, al contrario di quanto avviene per gli hotel, dove l'utenza ha un comportamento abbastanza standard, gli occupanti degli edifici residenziali introducono una variabile connessa ai profili d'uso molto diversificata. Occorre ovviamente tener conto opportunamente di questa circostanza nella definizione dei criteri relativi agli edifici.
Successivamente, è stata presa in considerazione la letteratura esistente in materia di valutazione ambientale degli edifici: ciò ha consentito di individuare ulteriori criteri che non sono contemplati nel manuale tecnico per l'Ecolabel Europeo per il turismo [22] ma che, plausibilmente, si riferiscono agli edifici. In particolare si è fatto riferimento ai seguenti documenti: Protocollo Itaca sintetico [16], Code for Sustainable Homes [15] e Swan Labelling of Small Houses [23].
Dall'analisi svolta emerge che numerosi e significativi sono i criteri che, pur se stabiliti per i servizi e gli edifici di ricettività turistica, possono essere trasferiti, direttamente o con qualche modifica, agli edifici residenziali e del terziario [21]. Ciò può utilmente contribuire a semplificare il lavoro di ricerca dei criteri caratterizzanti la qualità energetica, indoor ed ambientale degli edifici, in vista dell'individuazione di uno schema di marchio Ecolabel europeo.
I criteri di qualità degli alberghi, qui selezionati come utilizzabili all'interno di uno schema per l'attribuzione del marchio Ecolabel agli edifici, sono stati successivamente raggruppati secondo quattro differenti livelli di verificabilità [21], come riportato in Tab. 3.
Una volta definito lo schema di trasposizione e le schede che ne fanno parte, allo scopo di pervenire in via di primo tentativo ad un punteggio di qualità ambientale di un edificio, che costituisca il suo rango nel nuovo marchio di qualità, si potranno assegnare ai criteri individuati i punteggi descritti nello schema di Tab. 4.

CLASSE	DESCRIZIONE	ESEMPIO DI CRITERIO
A	Verificabile in situ	Efficienza energetica delle lampadine
B	Verificabile in situ con supplemento di indagine o con acquisizione di nuove informazioni	Utilizzo di fonti di energia rinnovabile per il riscaldamento
C	Verificabile in situ ma con riserva (- Legati al comportamento e alle scelte dell'utenza – Sono verificabili in maniera oggettiva tramite indagine diretta – Su tali criteri sarebbe comunque necessario un ulteriore livello di approfondimento, in particolare riguardo alle modalità di verifica)	Frigoriferi, lavastoviglie, lavatrici e apparecchiature da ufficio a basso consumo energetico
D	Non verificabile (- Legati al comportamento e alle scelte dell'utenza – La cui verifica si fonda su dichiarazioni rilasciate dall'utenza delle quali, però, non si può avere un riscontro oggettivo)	Raccolta differenziata dei rifiuti

Tab. 3 – *Classi di verificabilità dei criteri desunti dal manuale di qualità dei servizi di ricettività turistica [21]*

CRITERI UTILIZZATI PER IL CALCOLO	CLASSIFICAZIONE NEL MANUALE [23]	PUNTEGGIO ASSEGNATO
Criteri direttamente trasferibili agli edifici	Obbligatori	1
	Facoltativi	Punteggio proposto dal manuale [22]
Criteri legati al comportamento dell'utenza ed ulteriormente implementabili	Obbligatori	1
	Facoltativi	Punteggio proposto tecnico [22]
Individuazione di criteri "ex novo"		1

Tab. 4 – *Proposta di punteggi da assegnare ai criteri inclusi nell'Ecolabel per gli hotel*

Naturalmente, l'assegnazione di un punteggio numerico ad un edificio, in relazione alle sue prestazioni energetiche, ambientali ed indoor, non è sufficiente a stabilire se l'edificio può fregiarsi del marchio Ecolabel europeo. È, infatti, necessaria, da un lato, la definizione condivisa dei limiti numerici (benchmark) del punteggio che indicano un edificio come degno di questo riconoscimento di qualità ambientale e, dall'altro, un consistente approfondimento dell'analisi concernente il valore dei pesi da attribuire ai punteggi dei singoli criteri.

6.2. Performance indoor degli edifici in uno schema di marchio Ecolabel

In linea generale, la rispondenza ai requisiti concernenti le performance indoor dell'edificio dovrebbe essere preliminarmente verificato ed accertato prima di dar corso a qualunque analisi di tipo energetico ed ambientale ed, a maggior ragione, nell'ambito della discussione sui criteri per l'attribuzione del marchio europeo Ecolabel agli edifici.
In realtà, i requisiti riguardanti il "fitness for use" di tale particolare "prodotto" dovrebbero essere considerati come dei prerequisiti funzionali degli edifici, necessari per potere accedere alla procedura di attribuzione del marchio.

In tal senso allora, per l'attribuzione del marchio agli edifici, si potrebbe ipotizzare un semplice percorso lineare, con verifiche e retroazioni, che premi gli edifici che rispondono positivamente, dapprima alle prestazioni indoor minime richieste per l'ottenimento dell'Ecolabel e susseguentemente alle prestazioni energetiche ed ambientali fissate per l'Ecolabel degli edifici.
A tal proposito appare ragionevole immaginare di far riferimento alla norme EN 15251 [20] per individuare i criteri concernenti livelli di qualità ambientale degli edifici, sufficientemente alti da potere essere incorporati in un marchio avanzato di qualità, quale l'Ecolabel EU.
Purtroppo, occorre rilevare che non è possibile, al momento, per mezzo di questa norma, pervenire alla definizione di un'unica classe di qualità ambientale indoor di un intero edificio, che tenga conto di tutti i fattori del comfort. In realtà essa consente semplicemente di estendere le valutazioni eseguite a livello di singolo ambiente all'intero edificio cui l'ambiente appartiene, ma solo nel contesto di un particolare aspetto del comfort [Annexes F, G]. In aggiunta, essa non fornisce alcuna indicazione al fine di attribuire all'ambiente in esame un'unica categoria di qualità ambientale, comprensiva dei quattro aspetti del comfort.
Allo scopo di contribuire al superamento di questi problemi, si avanzano qui dei tentativi di soluzione. Da un lato, si potrebbe selezionare un ambiente rappresentativo dell'edificio ed applicare a questo la norma EN 15251 [20]. In tal caso il giudizio su tale ambiente diverrebbe il giudizio sull'intero edificio, da utilizzare come criterio per il marchio di qualità Ecolabel. Dall'altro lato, per pervenire ad un giudizio complessivo sulle prestazioni indoor di un edificio, si potrebbe utilmente far riferimento ad alcune interessanti proposte, contenute nella stessa norma EN 15251 [20], che introducono appunto alcune classi sintetiche di valutazione ambientale di un intero edificio, anche se le perplessità rispetto a questo approccio semplificato sono ancora molto forti [24].

7. Conclusioni

L'approccio attualmente perseguito dal gruppo di lavoro europeo è chiaramente del tipo "per componenti", nel quale il sistema edificio-impianto è visto come sommatoria di componenti e funzioni. Ciò conduce alla definizione di un elevato numero di criteri che tengano conto dei diversi aspetti.
In realtà, si potrebbe immaginare un approccio al problema di tipo olistico, considerando l'edificio come un'unica entità il cui scopo principale è garantire condizioni di comfort agli occupanti, con un dispendio energetico contenuto e con un impatto ambientale limitato. Secondo tale approccio, che consentirebbe di limitare il numero dei criteri in gioco, l'attribuzione del marchio Ecolabel sarebbe susseguente alla verifica del raggiungimento dei prerequisiti funzionali minimi in ciascuno dei tre ambiti citati.
Proprio nel contesto di questa visione appare utile rivolgere l'attenzione ai criteri già definiti da altri schemi Ecolabel che riguardano edifici e servizi prossimi a quelli residenziali e del terziario.
Allo stato attuale, appare molto elevata l'utilizzabilità di questi criteri nel contesto di un marchio di qualità ambientale europeo per gli edifici: ben trentatrè criteri hanno dimostrato la loro quasi diretta trasferibilità, mentre è stato necessario aggiungere solo altri otto nuovi criteri (essenzialmente legati all'utilizzo delle fonti energetiche rinnovabili ed alla gestione dei rifiuti) per completare uno schema di marchio Ecolabel per questa categoria di edifici.
Anche nell'ambito di un approccio di tipo "per componenti" che tende a verificare singolarmente ogni criterio prestazionale, va rilevato che i requisiti di comfort indoor dovrebbero comunque essere preventivamente soddisfatti per poter accedere allo schema Ecolabel: le condizioni interne di lavoro e di vita, infatti, devono essere riguardate come fondamentali rispetto alle prestazioni degli edifici e non come puramente opzionali.

Bibliografia

[1] Regolamento (CE) n. 1980/2000 del Parlamento europeo e del Consiglio del 17 luglio 2000 relativo al sistema comunitario, riesaminato, di assegnazione di un marchio di qualità ecologica (GUCE n. L237 del 21/09/2000).

[2] Libro Verde sulla Politica Integrata Relativa ai Prodotti (presentato dalla Commissione) Bruxelles, 07.02.2001 COM (2001) 68 definitivo.

[3] Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 Dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia (GUCE n. L1 del 04/01/03).

[4] Regolamento del Consiglio (CEE) 880/92 del 23 Marzo 1992 concernente un sistema comunitario di assegnazione di un marchio di qualità ecologica (G.U. n. L.99 del 11/04/1992).

[5] Decisione della Commissione del 14 aprile 2003 che stabilisce i criteri per l'assegnazione di un marchio comunitario di qualità ecologica al servizio di ricettività turistica [notificata con il numero C(2003) 235] (Testo rilevante ai fini del SEE) (2003/287/CE).

[6] Decisione della Commissione del 14 aprile 2005 che stabilisce i criteri per l'assegnazione di un marchio comunitario di qualità ecologica al servizio di campeggio (2005/338/CE).

[7] UNI EN ISO 14024 Etichette e dichiarazioni ambientali – Etichettatura ambientale di tipo I

[8] Ferrante P., Peri G., Rizzo G. Note sull'applicazione del marchio Ecolabel agli edifici. Atti del Seminario "ECOMONDO 2007. La cultura e le tecnologie ambientali in Italia ed in Europa", pp. 115-120. ISBN978- 88.387.3979-X, Maggioli Editore, 2007.

[9] U.S. Green Building Council (USGBC), LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Network: www.usgbc.org (accessed May 2009).

[10] Japan GreenBuild Council (JaGBC) and Japan Sustainable Building Consortium (JSBC), CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency). Network: http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm (accessed May 2009).

[11] Building Research Establishment, BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Network: http://www.breeam.org/index.jsp (accessed May 2009).

[12] *Vedi, per esempio*, the ASTM International Standards for Sustainability in Building *e* BSI British Standards.

[13] Erlandson M., Borg M., Generic LCA-methodology applicable for building, construction and operation service-today practice and development needs. Building and Environment 2003;38(7);919-38.

[14] Ggoedkoop M., Spriensma R., The Eco-indicator 99. A damage oriented method for life cycle assessment. Methodology report. Amersfoort, Netherlands PrèConsultans 2001.

[15] Department for Communities and Local Government, Code for Sustainable Homes – A step-change in sustainable home building practice. December 2006.

[16] Protocollo ITACA. ITACA (Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale) network: http://www.itaca.org (accessed May 2009).

[17] ISPRA (Italian Institute for Environmental Protection and Research), Product Group Definition Report. Ad Hoc Working Group Meeting, August 2008.

[18] ISPRA. Study for the development of European Eco-label criteria for buildings, First background report, January 2009.

[19] ISPRA. Study for the development of European Eco-label criteria for buildings, Second background report, March 2009.

[20] EN 15251:2007, Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. European Committee for Standardization (CEN), Brussels: 2007.

[21] G. Peri, Prestazioni ambientali degli edifici: ipotesi per l'attribuzione di un marchio Ecolabel. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio. Università degli Studi di Palermo, 2008.

[22] APAT. Manuale tecnico per l'Ecolabel europeo per il servizio di ricettività turistica, Luglio 2005. Network: www.apat.gov.it (accessed May 2009).

[23] Nordic Ecolabelling, Background document for Swan labelling of small houses, 10 May2005.

[24] Olesen B. W., The philosophy behind EN15251: Indoor Environmental Criteria for Design and Calculation of Energy Performance of Buildings. Energy and Buildings, 39(7), 740-749, 2007.

PROGRAMMI DI RICERCA LCA DEL DISTRETTO ECODOMUS

Antonino Cellura[1] (t.cellura@virgilio.it), Giorgio Beccali[2], Mario Fontana[2], Sonia Longo[2], Marina Mistretta[3]

[1]Rappresentante distretto produttivo ECODOMUS
[2]Dipartimento di Ricerche Energetiche e Ambientali, Università degli Studi di Palermo
[3]Dipartimento di Arte, Scienza e Tecnica del Costruire, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria

ABSTRACT

L'edilizia, uno dei settori economici più rilevanti in termini di produzione di ricchezza e di occupazione, è responsabile di significativi consumi di risorse primarie e rilasci ambientali.
In tale contesto, l'obiettivo di miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali da perseguire nella progettazione e nella costruzione di edifici sostenibili ha favorito un nuovo approccio progettuale noto come "edilizia sostenibile", caratterizzata da requisiti di eco-design e di efficienza energetica del sistema edificio-impianto. Tuttavia nel settore civile il reale sviluppo dell'edilizia sostenibile è legato alla promozione dei suddetti requisiti presso i soggetti che compongono la filiera dell'edilizia e che rivestono un ruolo determinante nel panorama produttivo nazionale, ed in particolare nell'area meridionale dell'Europa. I distretti produttivi di PMI possono rappresentare la chiave di volta del sistema; essi rappresentano soggetti sui quali puntare per introdurre nuove modalità produttive e nuovi sistemi di interconnessioni basati sull'ecoinnovazione. Il "Patto per lo sviluppo distrettuale della bioedilizia, del risparmio energetico e delle fonti rinnovabili – EcoDomus Agrigento" rappresenta uno sforzo fatto dai numerosi attori presenti in tutto il territorio siciliano, con prevalente localizzazione nella provincia di Agrigento, per costruire una filiera costuitita da imprese, università, enti pubblici e privati. L'obiettivo principale è quello di costituire un polo di eccellenza per la diffusione di sistemi costruttivi eco-compatibili e di fonti energetiche rinnovabili per la trasformazione sostenibile del patrimonio edilizio nel territorio siciliano considerato.

1. Introduzione

Il miglioramento delle prestazioni energetico-ambientali del sistema edificio-impianto rappresenta un obiettivo fondamentale da perseguire nella progettazione e nella costruzione di edifici sostenibili [1]. L'impiego di fonti energetiche rinnovabili, il risparmio di risorse primarie, la definizione di nuove tecnologie costruttive, l'impiego di materiali eco-compatibili e l'introduzione di sistemi di climatizzazione dello spazio confinato, che tengano conto dell'isolamento termico e dell'efficienza degli impianti, costituiscono pertanto i requisiti essenziali di quella metodologia di progettazione definita "Bioedilizia" [2].
Negli ultimi anni il panorama della Bioedilizia in Italia ha avuto una rapida evoluzione, grazie ad una serie di fattori che vanno dall'accresciuta sensibilità dei cittadini verso i temi di carattere ambientale, alla rinnovata professionalità dei progettisti coinvolti nelle diverse fasi edilizie, alla ricerca ed all'individuazione di soluzioni tecnologiche innovative per il contenimento degli elevati costi energetici di esercizio degli edifici esistenti.
I tentativi di promuovere la Bioedilizia in Italia sono testimoniati da diverse iniziative, tutte finalizzate alla definizione di linee-guida per la valutazione/certificazione degli edifici e a fornire agli operatori del settore una migliore comprensione dei costi a lungo termine, dei benefici diretti e indiretti dell'edilizia sostenibile.
In proposito si citano il sistema di valutazione/certificazione della sostenibilità ambientale "Protocollo Itaca", e, a livello regionale, il progetto Life Sun&Wind [3], [4]. Tuttavia il reale sviluppo dell'edilizia sostenibile è legato al coinvolgimento delle piccole e medie imprese (PMI), che rivestono un ruolo determinante nel panorama produttivo nazionale, ed in particolare nell'area meridionale dell'Europa. Le PMI possono essere degli importanti soggetti promotori e utilizzatori di tecnologie eco-efficienti e devono pertanto essere supportate attraverso strutture dedicate che svolgano il ruolo di "consultant" scientifico per le attività di ricerca e "advisor" nelle questioni sia

tecniche che legislative. I distretti produttivi di PMI rappresentano dei soggetti sui quali puntare per introdurre nuove modalità produttive e rafforzare un tessuto già interconnesso ma poco competitivo in termini di eco-innovazione.
Il “Patto per lo sviluppo distrettuale della bioedilizia, del risparmio energetico e delle fonti rinnovabili – ECODOMUS Agrigento” rappresenta un patto distrettuale tra numerosi attori presenti in tutto il territorio siciliano, con prevalente localizzazione nella provincia di Agrigento, per costruire una filiera costituita da imprese, università, enti pubblici e privati. L’obiettivo principale è quello di costituire un polo di eccellenza per la promozione delle fonti energetiche rinnovabili, la diffusione di tecniche costruttive e pratiche di gestione dell’edificio eco-compatibili, per la trasformazione sostenibile del patrimonio edilizio nel territorio siciliano considerato. Il coinvolgimento di attori chiave nello sviluppo territoriale quali università ed istituzioni pubbliche e private, laboratori di ricerca ed imprese del settore, potrà consentire di integrare il know-how e le esperienze di settore e di sviluppare nuove tecnologie in grado di innovare il modo di costruire e gestire il patrimonio edilizio. Di seguito si illustrerà sinteticamente il percorso di sviluppo delineato per l’eco-distretto ECODOMUS, con riferimento agli obiettivi, alle priorità e le azioni previste nel rispetto degli strumenti legislativi e programmi regionali vigenti.

2. Quadro di riferimento

Quello delle costruzioni rappresenta un settore economico tra i più importanti soprattutto per l’elevato numero di imprese ed addetti che ne sono coinvolti e per la composizione della produzione, degli investimenti e dell’occupazione (Tab. 1). In Sicilia, dal punto di vista macroeconomico, esso presenta una dinamica di sviluppo (0,9%) più vivace rispetto a quella nazionale (0,6%) ma molto più modesta di quella realizzata dal complesso delle regioni meridionali (2,7%).

Anno 2000	Valore aggiunto		Investimenti		Occupazione	
Settore	**Sicilia**	**Italia**	**Sicilia**	**Italia**	**Sicilia**	**Italia**
Costruzioni	5,8	4,9	1,8	3,0	6,9	6,5
Produzione di Energia Elettrica, di gas e di acqua calda	3,2	2,4	3,3	4,0	0,8	0,7

Tab. 1 – *Valore aggiunto, investimenti e occupazione in Sicilia ed in Italia (%) [5]*

Nonostante gli evidenti progressi negli ultimi anni testimoniati dai dati precedenti, i settori delle costruzioni e dell’energia in Sicilia continuano ad essere caratterizzati da una forte discontinuità in termini di sviluppo e qualità energetico-ambientale. Elemento comune ai sistemi locali più dinamici è il realizzare, in presenza di una serie di fattori favorevoli, un’interazione positiva tra tutti i soggetti che possono essere interessati dalla filiera[27]. Ad oggi tuttavia si evidenzia una limitata diffusione delle politiche d’incentivazione ed innovazione nonché della necessaria interazione tra le imprese.
Negli ultimi anni le normative nazionale e comunitaria sottolineano l’importanza dell’utilizzo ottimale delle risorse ricercando l’integrazione tra ambiente, territorio e risorse con le esigenze di benessere, il comfort abitativo e la salute dell’uomo, e valutando le modalità per il recupero e riciclaggio dei materiali edili, dei rifiuti e degli scarti derivanti dai processi produttivi e di demolizione. Sulla base delle indicazioni delle politiche ambientali europee, nasce quindi l’esigenza di riorientare il mercato verso prodotti con un minore impatto ambientale non solo per rispettare i sempre più stringenti limiti normativi, ma anche per poter competere in un mercato sempre più sensibile alle problematiche di tipo energetico-ambientale.

[27] Per “filiera” dell’edilizia si intende l’insieme delle fasi e degli attori connessi al ciclo di vita del sistema edificio.

In un quadro di competizione globale, è necessario un maggiore grado di interazione/ integrazione reciproca tra le imprese e tra queste e il contesto locale con riferimento non solo agli attori delle Pubbliche Amministrazioni, ma anche alle associazioni di categoria e agli istituti di ricerca. Questi ultimi possono svolgere, infatti, un ruolo decisivo in termini di innovazione dei prodotti e dei sistemi di produttivi. La possibilità di realizzare un Distretto che svolga un ruolo trainante per tutti i soggetti della filiera, interessati alla diffusione di prodotti e materiali eco-compatibili, permetterebbe una rapida assimilazione delle innovazioni di prodotto o di processo provenienti dall'esterno (altre aziende leader, centri di ricerca, Università).

3. Distretto "ECODOMUS"

Il Distretto ECODOMUS rappresenta l'aggregazione di più soggetti pubblici e privati operanti nel territorio ed appartenenti al settore economico dell'edilizia, quali:

- le imprese coinvolte nel processo di produzione del sistema edificio (imprese di costruzione, imprese di produzione dei materiali e dei componenti edilizi);
- le imprese impegnate nelle attività "a monte" del processo di costruzione (imprese di progettazione e consulenza, pubbliche amministrazioni, banche, società finanziarie ecc.) e a valle (imprese di demolizione, trattamento rifiuti ecc.);
- imprese di fornitura di materie prime, materiali e componenti;
- i soggetti coinvolti nella fase di uso e gestione dell'edificio (utilizzatori, imprese di manutenzione e riparazione, imprese di pulizia ecc.);
- tutte le attività insediate nel territorio che, anche indirettamente, possono giovarsi di una crescita del settore edile orientata alla qualità ambientale e sociale (cittadini, associazioni, società immobiliari e cooperative ecc.).

La Fig. 1 schematizza la filiera dell'edilizia individuata nel Distretto ECODOMUS, in funzione del prodotto/settore finale del distretto. Nel caso in specie questo può essere identificato nel sistema edificio/impianto lungo l'intero ciclo di vita dello stesso (dalla progettazione alla demolizione e riciclo delle materie di scarto).

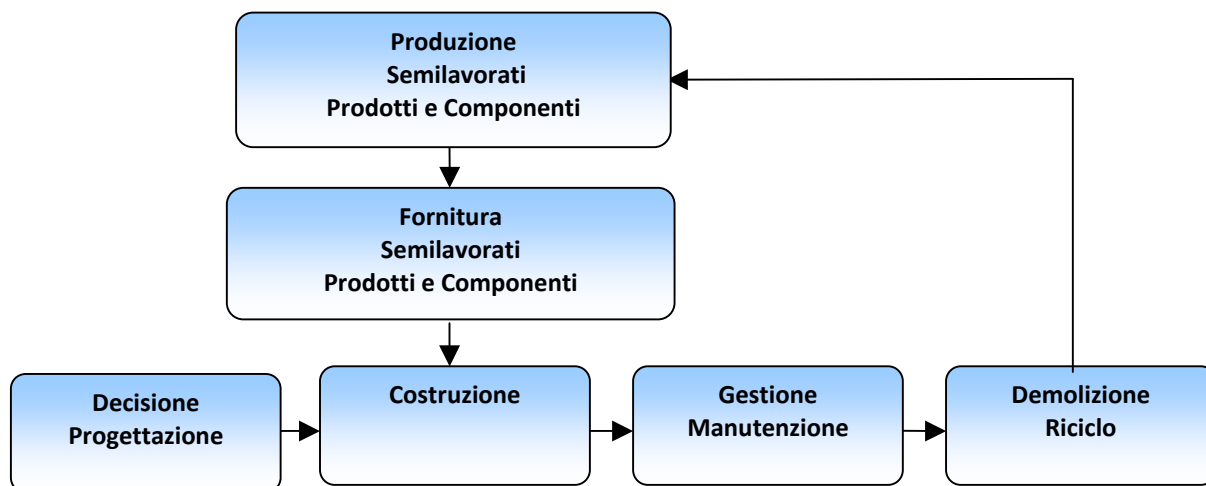



Fig. 1 – *La filiera dell'edilizia*

Le imprese, essenzialmente PMI, che hanno aderito al patto distrettuale sono 167 con un profilo eterogeneo che comunque copre tutte le fasi della filiera in esame, dalla progettazione alla produzione e commercio di componenti e prodotti (materie plastiche, prodotti del legno e del ferro, vernici e intonaci, manufatti in cemento, sistemi di produzione di fonti rinnovabili di energia ecc.), dalla costruzione di edifici e installazione di impianti alla gestione, manutenzione e monitoraggio ambientale, fino allo smaltimento finale (Fig. 2). Alle aziende si affiancheranno enti di ricerca (università), enti locali, istituzioni formative specifiche, ordini professionali, istituti, associazioni, per un totale di 38 soggetti coinvolti, di cui 25 enti e associazioni e consorzi e 13 Comuni.

In proposito la collaborazione con il Dipartimento di Ricerche Energetiche ed Ambientali (DREAM) dell'Università di Palermo sarà finalizzata a stimolare la diffusione delle tecnologie alternative ed innovative, e favorire la collaborazione tra organismi di ricerca e mondo industriale, traducendo le conoscenze teoriche in applicazioni di mercato.
In particolare il DREAM fornirà il supporto tecnico-scientifico alla progettazione, installazione e monitoraggio di impianti per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia e alla sperimentazione di tecnologie innovative, mettendo a disposizione software specialistici per l'Analisi del Ciclo di Vita e per i sistemi di supporto alla decisione nonché la banca dati degli studi inerenti gli eco-profili di materiali ed impianti per l'edilizia.
L'obiettivo della collaborazione sarà inoltre quello di studiare le prestazioni energetico-ambientali di un numero sempre crescente di prodotti locali per l'edilizia e mirando alla creazione di un database ambientale rappresentativo del contesto regionale [6].
Particolare attenzione sarà data alla diffusione degli schemi di certificazione di prodotto "Ecolabel" e la "Dichiarazione Ambientale di prodotto" per la valorizzazione e promozione dei prodotti edili con le migliori prestazioni ambientali [7], [8]. In particolare, si prevede di assistere le aziende nei percorsi di certificazione ambientale, promuovendo le imprese più sensibili alle problematiche ambientali.
Il partenariato con il DREAM avrà lo scopo di valutare, attraverso l'analisi di concreti casi-studio locali, le peculiarità di tale certificazione nel contesto regionale rivolgendo, ad esempio, l'attenzione ai carichi termici estivi per gli edifici ed all'uso di materiali per l'edilizia tipici per le regioni meridionali. I risultati dello studio potrebbero essere pubblicati e diffusi agli Enti impegnati nella definizione dei criteri Ecolabel in qualità di dati rappresentativi delle regioni dell'area mediterranea.
La collaborazione con le imprese del distretto potrebbe essere un utile strumento per sviluppare delle ricerche inerenti il monitoraggio energetico ed ambientale degli edifici e la definizione di strategie e linee guida per l'edilizia sostenibile. Tali prodotti della ricerca potrebbero rappresentare un utile ausilio per le imprese produttrici di prodotti edili nello sviluppo di prodotti per l'edilizia con migliori prestazioni e per le imprese edili per l'adozione e diffusione di prodotti e pratiche eco-compatibili.

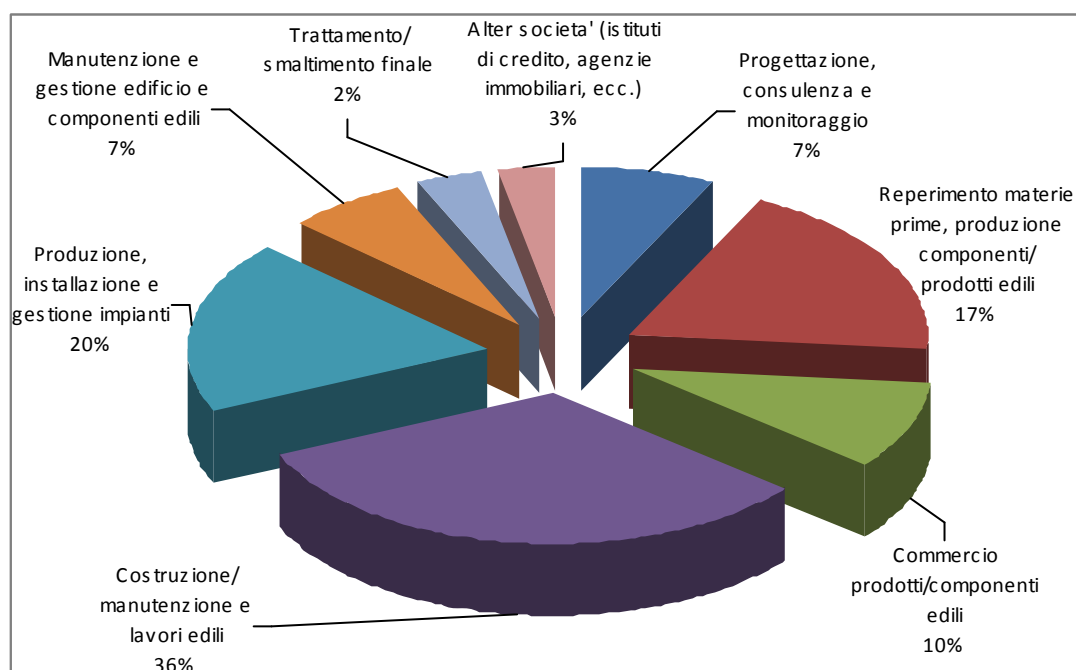



Fig. 2 – *Distribuzione percentuale delle aziende aderenti al Patto Distrettuale*

3.1 Punti di eccellenza e di criticità del distretto (analisi SWOT)

Di seguito è descritta un'analisi dei punti di forza e debolezza, delle opportunità e delle minacce relative alla realtà distrettuale considerata, secondo il tradizionale approccio *SWOT*.
Tale analisi evidenzia le criticità da considerare nella definizione degli obiettivi e delle strategie del Distretto. Tra i punti di eccellenza del Distretto va citata la presenza di poli specializzati in diverse nicchie di mercato aventi elevate potenzialità di crescita e dunque elementi di traino per l'intero distretto. Da evidenziare, inoltre, la possibilità di sviluppare importanti sinergie tra le PMI e gli enti di ricerca specializzati nel settore della bioedilizia e delle tecnologie, per la produzione di fonti rinnovabili e per incrementare la ricerca e il trasferimento tecnologico, l'efficienza della produzione, la formazione qualificata del personale.
Tra i punti di criticità si evidenziano:

- Nel settore edile:
  - Limitato uso di materiali innovativi e a ridotto impatto ambientale.
  - Assenza di prodotti edili dotati di marchio di qualità (Ecolabel, EPD ecc.)
  - Elevato impatto ambientale delle attività produttive, spesso legato all'utilizzo di tecnologie obsolete.
  - Carenza di infrastrutture di collegamento con i mercati, che implica elevati costi ambientali ed economici, per il trasporto delle materie prime e dei prodotti finiti.
  - Insufficiente livello di diffusione dell'uso della bioarchitettura in edilizia;
  - Insufficiente diffusione di strumenti regolamentari nell'urbanistica locale e intercomunale (regolamenti comunali e/o territoriali);
  - L'insufficiente attività di promozione verso i mercati nazionali e stranieri.
- Nel settore energetico:
  - Difficoltà ad immettere nel mercato delle abitazioni il solare termico;
  - Costo eccessivo delle celle fotovoltaiche;
  - Insufficiente utilizzo delle biomasse.

3.2 Obiettivi di sviluppo del distretto

Le criticità evidenziate dall'analisi descritta precedentemente, le esigenze e l'importanza delle attività nei settori edile ed energetico del territorio considerato unitamente alla crescente consapevolezza delle problematiche energetico-ambientali connesse, evidenziano l'importanza di attuare sinergie tra i vari attori della filiera al fine di valorizzare il territorio. In proposito, gli obiettivi del Patto di Sviluppo del Distretto della Bioedilizia EcoDomus sono i seguenti:

- <u>Obiettivi di breve periodo</u>
  - Introdurre i concetti di sostenibilità ambientale e della riduzione dell'uso di risorse non rinnovabili nel comparto delle costruzioni, attraverso il coinvolgimento sia dei produttori che dei consumatori per facilitare la diffusione di sistemi di certificazione.
  - Favorire l'integrazione tra i sistemi delle aziende locali sia piccole che grandi, tra le imprese e i fornitori, anche esterni, e tra le stesse e i clienti potenziali per la nascita di nuove sinergie tra imprese.
  - Formare le risorse umane, attraverso il trasferimento del know-how, per migliorare l'efficienza organizzativa delle imprese, la capacità di gestione delle nuove opportunità del mercato e lo sviluppo di nuove strategie orientate alla sostenibilità.
  - Attuare la diffusione ed il trasferimento di informazioni sulle attività e i servizi offerti dal Distretto e sulle risorse e potenzialità del settore edile, tramite campagne informative, portale web, database, sistemi informativi territoriali ecc.
- <u>Obiettivi di lungo periodo</u>
  - Migliorare la competitività economica ed ambientale delle imprese attraverso azioni mirate alla promozione della ricerca industriale e dell'innovazione tecnologica. In particolare la promozione dell'innovazione riveste un ruolo primario, in quanto ha assunto ormai valore strategico per le aziende e per la loro capacità di inserirsi nel mercato. Conoscere nuove tec-

nologie a basso impatto ambientale, essere in grado di utilizzarle, immettere nei mercati internazionali continuamente nuovi prodotti dotati di marchi di qualità significa accrescere la competitività della propria impresa.

- Migliorare la qualità e l'efficienza energetica degli edifici attraverso l'adozione di nuovi standard costruttivi e di certificazione (ad esempio attraverso l'applicazione del marchio E-colabel agli edifici). Tale obiettivo mira ad un'eccellenza del costruire che da un lato arricchisca il patrimonio degli operatori di know-how, di prodotti e tecnologie competitivi e, dall'altro, renda accessibili ed effettivamente utilizzabili le soluzioni costruttive e i materiali ad alte prestazioni che oggi possono essere ottenute applicando le conoscenze tecniche disponibili.
- Indurre le Pubbliche Amministrazioni a una maggiore diffusione di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili per abbassare i costi energetici delle realtà produttive e per ridurre le emissioni di gas serra. Tali enti locali infatti, rappresentando gli organi amministrativi del territorio interessato possono svolgere un ruolo fondamentale per coinvolgere ed informare tutti i soggetti coinvolti dalla filiera e orientare il mercato del territorio distrettuale verso prodotti "verdi" avendo un effetto volano anche sui comportamenti di tutte le aziende di settore fornitrici e/o appaltanti degli Enti coinvolti.
- Supportare l'introduzione dei prodotti finiti nei mercati nazionali ed internazionali e attivare degli scambi con i paesi del mediterraneo che hanno avviato iniziative simili, al fine di facilitare il trasferimento del *know – how* sulle nuove tecnologie e nuovi prodotti.

3.3 Azioni previste

Gli obiettivi strategici di sviluppo del Distretto ECODOMUS saranno perseguiti attraverso le seguenti azioni fondamentali:

1. Redazione di "Linee Guida per l'Edilizia Sostenibile" e creazione di un database per la diffusione delle informazioni ambientali, al fine di fornire uno strumento che orienti la filiera distrettuale ai criteri di eco-design e all'innovazione tecnologica. L'azione si propone di realizzare il primo database ambientale per l'edilizia, compatibile ed interfacciabile con la piattaforma europea per LCA [9], relativo alle prestazioni energetiche ed ambientali di materiali, prodotti, processi, impianti e fonti energetiche per il settore edile nel contesto territoriale siciliano. Il database si configura come un supporto informativo e conoscitivo che permetterà alle aziende di valutare le proprie prestazioni e confrontarle con quelle di altri produttori del settore (analisi di benchmark). Il database potrà essere utilizzato per varie tipologie di iniziative, quali:
- redazione dell'ecoprofilo di prodotti, servizi del distretto;
- ottenimento di certificazioni ambientali e divulgazione delle informazioni agli stakeholder;
- ri-progettazione ecologica dei processi produttivi secondo i principi dell'ecologia industriale e della bio-architettura.

In dettaglio, l'azione verrà articolata nelle seguenti fasi:
- Applicazione, tramite indagini di campo presso le aziende coinvolte nel distretto, della metodologia LCA ai processi di produzione di pitture e vernici, manufatti in cemento, marmo, infissi in alluminio e legno, laterizi e materiali plastici isolanti. I casi studio verranno selezionati in funzione del loro grado di innovazione nel settore (vernici a base di prodotti naturali o ceramici, pannelli isolanti a ridotta resistenza termica, infissi con ridotti valori di trasmittanza termica ecc.).
- Applicazione della metodologia LCA al processo di costruzione di un edificio residenziale. Lo studio riguarderà l'indagine di un edificio prototipo realizzato da una delle imprese edili partner del Patto.
- Elaborazione di un database ambientale compatibile ed interfacciabile con la piattaforma europea per LCA, relativo alle prestazioni energetiche ed ambientali di materiali, prodotti, processi, impianti e fonti energetiche per il settore edile nel contesto territoriale siciliano. Il database conterrà al suo interno una sezione specifica per l'LCA, dove saranno riportati gli eco-profili di materiali da costruzione tipici del distretto. Il database conterrà sia informazio-

ni e dati tratti dalla letteratura scientifica regionale, sia le informazioni raccolte nell'ambito delle attività del distretto.

- Redazione di Linee Guida per l'Edilizia Sostenibile, documento di riferimento per le pubbliche amministrazioni. Gli enti locali aderenti al patto si impegneranno ad adottare tali linee guida nella definizione dei bandi di gara per la fornitura di prodotti e servizi nel settore edile, prevedendo dei criteri preferenziali per prodotti ed aziende che opereranno secondo i principi dell'edilizia sostenibile, e introdurranno nei propri regolamenti edilizi incentivi per la bioedilizia, adottando contemporaneamente misure specifiche tese alla promozione di impianti di energia verde. Si prevede di realizzare almeno tre Linee Guida per tipologie di soggetti appartenenti alla filiera dell'edilizia.

Durante tali fasi il distretto opererà in stretta relazione con i Partner della ricerca scientifica, finanziando borse di studio per l'attività di ricerca nel settore.

2. Rafforzamento della filiera produttiva tramite meccanismi di simbiosi industriale e diffusione di sistemi di certificazione ambientale di prodotto (marchi Ecolabel ed EPD) per la riduzione dei consumi di risorse e il riutilizzo/riciclo degli scarti e sottoprodotti dei cicli produttivi della filiera. L'azione si prefigge di analizzare le peculiarità energetiche ed ambientali degli edifici dell'area mediterranea e di fornire, in apposito report, possibili criteri specifici per l'applicazione del Marchio Ecolabel agli edifici mediterranei, sulla base delle esperienze internazionali già in atto. Il materiale prodotto potrà supportare le attività dell'APAT inerenti la discussione dei criteri per l'applicazione dell'Ecolabel agli edifici.

3. Creazione di un "Marchio di Distretto ECODOMUS", Registrazione EMAS di Distretto e promozione nel territorio dei Sistemi di Gestione Ambientale, al fine di: *i*) contribuire allo sviluppo integrato dei sistemi produttivi e dei servizi, in un'ottica di miglioramento continuo della qualità globale; *ii*) Promuovere nel mercato locale, nazionale ed internazionale il Distretto come "filiera eco-orientata"; *iii*) Fornire agli stakeholder delle informazioni scientificamente accertate sulla gestione degli impatti ambientali nel territorio. La creazione del Marchio ECODOMUS rappresenta il primo marchio di qualità energetico-ambientale per un Distretto nel settore edile in Sicilia, mentre l'ottenimento della registrazione EMAS rappresenta una dei pochi esempi di applicazione territoriale del regolamento in Italia. Essi costituiranno uno stimolo continuo per le aziende del territorio a rispettare i requisiti minimi di prestazione energetico-ambientale, di qualità dei prodotti e servizi offerti e di sicurezza dei processi produttivi.

4. Realizzazione di un Centro di Consulenza e Ricerca Permanente (CCRP) a supporto della filiera, come forum di consultazione sulle tematiche dell'edilizia sostenibile, e sviluppo e realizzazione di materiali e tecniche innovativi. In particolare l'obiettivo dell'azione sarà quello di supportare le aziende nell'applicazione della normativa ambientale e nell'ottenimento dei Sistemi di Gestione Ambientali certificati (EMAS, ISO14001) e dei marchi di qualità ambientale per i prodotti (EPD, Ecolabel), nonché nell'applicazione dei criteri di eco-design nella selezione di soluzioni tecnologiche e impiantistiche, prodotti e servizi con le migliori prestazioni energetico-ambientali. Il CCRP avrà inoltre un ruolo chiave nel campo dello sviluppo e realizzazione di tecniche e materiali innovativi, quali i materiali isolanti ad alta prestazione termo-acustica (derivati da LDPE, HDPE, PP o PVC), i materiali plastici di supporto per i semiconduttori di bassissimo spessore ("thin film") utilizzati nei pannelli fotovoltaici. Ciò con l'obiettivo finale di mettere a disposizione il know-how ed i laboratori specialistici per applicazioni concrete a scala distrettuale, contribuire alla creazione di nuovi brevetti e diffondere i brevetti già in possesso dei partners.

5. Azioni infrastrutturali funzionali e connesse al potenziamento e miglioramento delle aree produttive e realizzazione di un edificio pilota ECODOMUS, secondo i criteri stabiliti nelle linee guida per l'edilizia sostenibile predisposte per il distretto (vedi Azione 1), quali l'introduzione di fonti rinnovabili, l'impiego di impianti ad alta efficienza, l'utilizzo di tecnologie costruttive innovative, l'utilizzo di materiali bio-compatibili ad alta efficienza, l'implementazione di buone procedure per il miglioramento energetico-ambientale della fase di gestione. L'edificio costituirà la sede del CCRP precedentemente descritto ed il luogo per lo svolgimento di tutte le attività for-

mative ed informative connesse alle attività del Distretto. Si prevede di effettuare la certificazione energetica del prototipo.

6. Formazione, Trasferimento del know-how, Informazione, Comunicazione e Promozione, al fine di formare personale tecnico specializzato a supportare le attività decisionali, pianificatorie e progettuali delle imprese e delle pubbliche amministrazioni. L'obiettivo generale sarà quello di ridurre il gap tra domanda e offerta di prodotti eco-compatibili nell'edilizia, attraverso opportune campagne ed iniziative per la comunicazione e promozione dei prodotti/servizi innovativi dell'intero comparto distrettuale.

7. Attuazione di strategie eco-sostenibili nelle Pubbliche Amministrazioni (PA) del Distretto (*Green Public Procurement, GPP*). Il Distretto EcoDomus si propone di svolgere il ruolo di *advisor* per le PA nella definizione delle strategie ottimali per gli acquisti verdi. Il ruolo delle PA in tale senso è particolarmente importante in quanto essendo gli organi amministrativi più vicini al territorio possono più facilmente influenzare il comportamento dei vari soggetti interessati. Si prevede pertanto di redigere "Linee Guida sul *GPP* per le PA aderenti al Patto distrettuale", come strumento di supporto all'acquisto dei prodotti con le migliori caratteristiche energetico-ambientale, e di introdurre i criteri ecologici negli appalti pubblici (Prodotti con Marchi di qualità ambientale, Sistemi di Gestione Ambientale *EMAS/ISO 14001*). Si prevede inoltre di definire standard di qualità energetico–ambientale per la promozione del risparmio energetico e della compatibilità ambientale nel territorio da inserire nei nuovi Regolamenti Edilizi dei Comuni che aderiscono al Distretto.

8. Realizzazione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) e di un sistema di monitoraggio delle prestazioni del distretto. Sulla base di un set rappresentativo di indicatori si prevede di effettuare il monitoraggio delle prestazioni del Distretto ECODOMUS, al fine di valutare gli effetti energetico-ambientali, sociali ed economici indotti e il valore aggiunto determinato sul territorio dalle azioni sopra esposte. Sarà pertanto possibile individuare gli obiettivi e target di miglioramento conseguiti e attivare, in caso di anomalie riscontrate, opportune azioni preventive e correttive al programma delle azioni previste. Si prevede inoltre di creare un database georeferenziato o in ambiente SIT, in modo da rendere immediato il reperimento di qualunque informazione sulle aziende.

4. Conclusioni

Il tessuto economico regionale è caratterizzato essenzialmente da Piccole e Medie Imprese (PMI). Tali soggetti hanno spesso una dimensione ridotta che impedisce loro un sufficiente adeguamento tecnologico, oltre a denotare la carenza di know-how specifico. In un contesto economico in cui il mercato è caratterizzato da una crescente domanda di nuovi servizi e prodotti di qualità, il tema dell'innovazione tecnologica diventa primario. A differenza dei grandi gruppi industriali che anche tramite acquisizioni e/o fusioni riescono a mantenere saldi gli anelli della catena del valore, le PMI operano su un orizzonte di mercato limitato e, con mezzi finanziari insufficienti, si posizionano nei mercati esteri in modo disaggregato e prive di una strategia mirata alle diversità dei mercati di sbocco.
L'analisi SWOT sopra descritta ha evidenziato non trascurabili elementi critici all'interno del Distretto ECODOMUS, quali ad esempio l'eccessiva frammentazione dell'attività imprenditoriale (numerose microimprese) e bassi livelli di cooperazione e integrazione produttiva tra PMI e scarsa presenza di aziende certificate ISO 14000 o EMAS. Tuttavia, rilevanti sono sia i punti di eccellenza individuati, come la presenza di poli specializzati in diverse nicchie di mercato aventi elevate potenzialità di crescita e dunque elementi di traino per l'intero distretto, sia le opportunità di innovazione, quali lo sviluppo di tecnologie di sfruttamento dell'energia solare in un territorio estremamente favorevole e di tecnologie bioclimatiche, il miglioramento dei processi e dei prodotti attraverso l'introduzione delle migliori tecnologie disponibili (Best Available Technologies BAT).

Innovazione, ma anche riduzione dei costi delle imprese produttrici dei prodotti finali e cooperazione tra i soggetti coinvolti costituiscono le linee strategiche del Patto Distrettuale che, partendo dall'analisi e dal coordinamento delle eccellenze del territorio, cerca di dare a queste un valore aggiunto, ossia la possibilità di entrare a far parte di una pianificazione strategica e operativa più ampia in cui la dimensione imprenditoriale, la ricerca e l'innovazione possono generare un circolo virtuoso che porti ad un reale sviluppo nei settori competitivi della bioedilizia e del risparmio energetico. In tale contesto la collaborazione con il DREAM sarà finalizzata a stimolare la diffusione delle tecnologie alternative ed innovative, e favorire la collaborazione tra organismi di ricerca e mondo industriale, traducendo le conoscenze teoriche in applicazioni di mercato. Il DREAM fornirà il supporto tecnico-scientifico alla progettazione, installazione e monitoraggio di impianti per lo sfruttamento delle fonti rinnovabili di energia e alla sperimentazione di tecnologie innovative, mettendo a disposizione software specialistici per l'Analisi del Ciclo di Vita e per i sistemi di supporto alla decisione nonché la banca dati degli studi inerenti gli eco-profili di materiali ed impianti per l'edilizia.

Bibliografia

[1] UNEP. Sustainable building and construction. Industry and Environment, Vol. 26 (2-3), April-September 2003.

[2] Ardente F., Beccali M., Cellura M., Mistretta M. e Marchese M. Dichiarazione ambientale di prodotto applicata ai materiali bioedili. La Termotecnica, Dicembre, 2005, pp. 70-74.

[3] ITACA. Protocollo ITACA semplificato per la valutazione della qualità energetica ed ambientale di un edificio. Gruppo di Lavoro Interregionale in materia di bioedilizia, Roma, 15 gennaio 2004.

[4] Amara O., Beccali M., Cellura M., Fontana M., Mistretta M. A Proposal of Guidelines for Energy Certification of Mediterranean Building Typologies: the Life Project "Sun and Wind". Sustainable Building '07, Turin 7-8 June, 2007.

[5] Asmundo A. Industria e Sistemi Locali Manifatturieri in Sicilia. Relazione presentata al Convegno "Distretti industriali: potenzialità di sviluppo in Sicilia". Palermo, Villa Zito, 4 dicembre 2001.

[6] ISO 14040. Environmental management: Life cycle assessment: Principles and framework. Internatio-nal organisation for standardisation, Geneva 1997.

[7] Parlamento Europeo e Il Consiglio dell'Unione Europea. Regolamento (CE) N. 1980/2000 del Parlamento Europeo e del Consiglio del 17 Luglio 2000 relativo al Sistema Comunitario, riesaminato, di Assegnazione di un Marchio di Qualità Ecologica.

[8] Swedish Environmental Management Council 2000, MSR 1999:2 Requirement for Environmental Product Declaration, EPD an application of ISOTR 14025 TYP III Environmental Declarations.

[9] European Commission. Documentation and Quality requirements of the European Platform on Life Cycle Assessment for LCI data sets of research projects v. 1.0.1. European Platform on LCA, 22nd December. 2006.

Premio Giovani Ricercatori LCA

Relazioni scientifiche dei vincitori

1° CLASSIFICATO

Influenza delle procedure di allocazione in una LCA di un sistema di gestione integrata degli RSU

Lucia Rigamonti (lucia.rigamonti@polimi.it)

Politecnico di Milano – DIIAR Sezione ambientale

1. Basi scientifiche

Negli ultimi anni l'LCA è stata applicata non solo ai prodotti ma anche ai servizi, compresi quelli legati alla gestione dei rifiuti [1]. Numerosi sono gli studi che hanno confrontato tra loro le diverse modalità di gestione dei rifiuti urbani (RSU), mentre non sono molti quelli che hanno analizzato l'intero sistema di gestione integrata degli RSU (ad es. [2][3][4]). Inoltre, in questi studi, il problema delle allocazioni, che nasce in quanto il sistema di gestione dei rifiuti oltre a svolgere la funzione di smaltimento dei rifiuti produce anche dei nuovi prodotti quali energia e materiali riciclati, viene solitamente risolto utilizzando la tecnica di espansione dei confini del sistema [1][5][6][7]. Mentre l'influenza, sui risultati dell'analisi, dell'applicazione di tale tecnica al recupero di energia dal sistema è stata già ampiamente analizzata, solo alcuni studi hanno affrontato apertamente il problema di come effettuare l'allocazione in presenza di attività di riciclo di materiali.

2. Scopo della ricerca

Lo scopo di questa ricerca è stato quindi quello di valutare gli effetti dell'applicazione di diverse procedure di allocazione sui risultati di un'analisi LCA applicata ad un intero sistema di gestione integrata dei RSU. In particolare, nel valutare il riciclo dei materiali separati con la raccolta differenziata, i confini del sistema sono stati espansi per includere le corrispondenti produzioni primarie evitate e la sostituzione del materiale primario da parte di quello secondario è stata valutata secondo due diversi scenari: -allocazione a ciclo chiuso: si suppone che il materiale riciclato abbia esattamente le stesse caratteristiche del materiale primario e quindi che 1 t di materiale riciclato eviti la produzione di 1 t di materiale primario; -allocazione a ciclo aperto: si suppone che il materiale riciclato abbia caratteristiche più scadenti del materiale primario e quindi che 1 t di materiale riciclato eviti la produzione di una quantità inferiore di materiale primario.

3. Strumenti impiegati

L'analisi LCA è stata condotta utilizzando il software Simapro 7 nel quale sono stati realizzati ad hoc tutti i moduli costituenti le singoli fasi del sistema di gestione integrata degli RSU analizzato e, quindi, nello specifico, la raccolta differenziata, il riciclo di acciaio, alluminio, vetro, legno, carta e plastica, il compostaggio del verde e dell'umido e l'incenerimento del residuo indifferenziato in un impianto dedicato in funzionamento cogenerativo.

4. Risultati

Nell'analisi LCA condotta gli indicatori di impatto considerati sono stati il fabbisogno energetico (calcolato secondo il metodo di caratterizzazione Cumulative Energy Demand) e il riscaldamento globale, l'acidificazione, la tossicità umana e la formazione fotochimica di ozono (calcolati secondo il metodo di caratterizzazione CML 2001). I risultati sono stati innanzitutto determinati in termini di tonnellata di ciascun materiale raccolto ed inviato al recupero di materia (per i materiali da imballaggio e la frazione organica) o al recupero di energia (per il residuo indifferenziato). Quindi, combinando tali risultati con lo scenario di raccolta differenziata ipotizzato, si sono calcolati i risultati in termini di una tonnellata di RSU a monte della raccolta differenziata ossia all'ingresso del sistema analizzato.

I risultati relativi al riciclo di ciascun materiale da imballaggio indicano un beneficio in tutti gli indicatori di impatto analizzati. Tale beneficio, però, si riduce notevolmente nel momento in cui si tiene in considerazione lo scadimento qualitativo del materiale riciclato e quindi nel momento in cui si utilizza una procedura di allocazione a ciclo aperto. In particolare, nel riciclo della carta, considerando un rapporto di sostituzione (calcolato sul numero massimo effettuabile di cicli di riciclo) della carta vergine con quella riciclata pari a 1:0,83 (ossia 1 t di carta da riciclo evita la produzione di 0,83 t di carta vergine), gli indicatori di impatto subiscono un peggioramento del 18% circa rispetto al caso in cui si ipotizzi un rapporto di sostituzione 1:1. Similmente, nel caso del riciclo della plastica, utilizzando un rapporto di sostituzione 1:0,81 (determinato utilizzando il valore economico del polimero riciclato rispetto a quello vergine) si ottiene un peggioramento di tutti gli indicatori di impatto attorno al 22% rispetto al caso in cui si utilizzi un rapporto di sostituzione 1:1. Questi peggioramenti si ripercuotono poi sul valore degli indicatori dell'intero sistema di gestione integrata degli RSU. Tali indicatori presentano segno negativo, ad indicare che il sistema di gestione dei rifiuti riesce a compensare completamente i propri impatti grazie alla produzione di energia e di materiali che avviene al suo interno e che evita la produzione di energia e materiali per via convenzionale (rispettivamente da combustibili fossili e da materie prime vergini). Il beneficio, sia energetico che ambientale, si riduce però di circa il 20% nel momento in cui per carta e plastica si utilizza lo scenario dell'allocazione a ciclo aperto (Fig. 1).

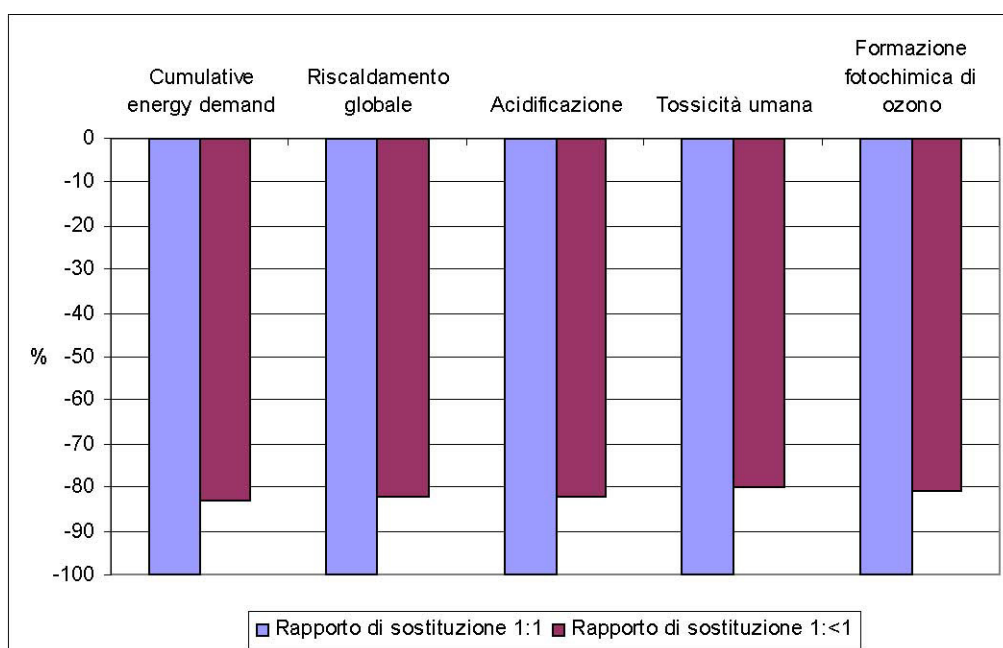



Fig. 1 – *Indicatori di impatto dell'intero sistema di gestione integrata degli RSU analizzato: confronto tra i due diversi scenari di allocazione utilizzati nella modellizzazione del riciclo di carta e plastica*

5. Contributo originale per l'LCA

La ricerca ha mostrato che le ipotesi sulle procedure di allocazione, nel momento in cui nel sistema analizzato sono presenti delle attività di riciclo dei materiali, sono fondamentali. Di conseguenza, nell'analisi LCA di sistemi di gestione dei rifiuti devono essere presentate in modo trasparente non solo le ipotesi relative all'energia sostituita grazie a quella prodotta dal sistema, ma anche quelle relative ai materiali sostituiti con quelli prodotti dal riciclo, sia in termini di tipologia di materiale che in termini di quantità. In particolare, questa ricerca ha determinato i rapporti di sostituzione, tra materiale vergine e riciclato, di carta e plastica, che potranno quindi essere utilizzati in altri studi che includano il processo di riciclo di tali materiali.

6. Conclusioni e prospettive future

I risultati delle analisi LCA di sistemi integrati di gestione degli RSU sono strettamente connessi alle ipotesi effettuate sulla modellizzazione del recupero di materia e di energia. Risulta quindi necessario effettuare un'analisi più approfondita circa le reali caratteristiche dei materiali riciclati e quindi la reale possibilità di sostituzione dei materiali vergini, di modo da determinare il più corretto rapporto di sostituzione da utilizzare poi nell'analisi LCA. Da analizzare più in dettaglio sono il caso del riciclo del legno e del mix di poliolefine che si ottiene dalla plastica raccolta dopo aver separato i polimeri più nobili.

Bibliografia

[1] Finnveden, 1999. *Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems*. Resources, Conservation and Recycling, 26, 173-187.

[2] Eriksson O., Carlsson Reich M., Frostell B., Björklund A., Assefa G., Sundqvist J.-O., Granath J., Baky A., Thyselius L., 2005. *Municipal solid waste management from a system perspective*. Journal of Cleaner Production, 13, 241-252.

[3] AEA, 2001. *Waste Management Options and Climate Change*. Final report to the European Commission, DG Environment. http://europa.eu.int

[4] European Commission, JRC, Institute for Environment and Sustainability, 2007. *Environmental Assessment of Municipal Waste Management Scenarios: Part I – Data collection and preliminary assessments for life cycle thinking pilot studies. Part II – Detailed Life Cycle Assessments*.

http://management.environmental-expert.com

[5] Ekvall T. e Finnveden G., 2001. *Allocation in ISO 14041 – a critical review*. Journal of Cleaner Production, 9, 197-208.

[6] Heijungs R. e Guinée J.B., 2007. *Allocation and "what-if" scenarios in life cycle assessment of waste management systems*. Waste Management, 27, 997-1005.

[7] Reap J., Roman F., Duncan S., Bras B., 2008. *A survey of unresolved problems in life cycle assessment. Part 1: goal and scope and inventory analysis*. Int J Life Cycle Assessment, volume 13, n. 4, 290-300.

2° CLASSIFICATO

Elaborazione ed implementazione di un modello tecnologico di Life Cycle Costing basato sull'analisi INPUT-OUTPUT

Ettore Settanni (e.settanni@dgm.uniba.it)

Dipartimento di Scienze Geografiche e Merceologiche – Università degli Studi di Bari

1. Basi scientifiche

L'estensione della LCA nella direzione del Life Cycle Costing (LCC) sottolinea l'importanza dei flussi di materia ed energia nel determinare sia il costo di produzione nelle aziende manifatturiere, sia le problematiche ambientali aziendali. Nonostante esistano diverse applicazioni congiunte dei due strumenti, alcune problematiche di coerenza tra analisi dei costi e analisi ambientale sembrano precludere la possibilità di una loro effettiva integrazione nell'ambito dalla stessa struttura formale. Sorgono, inoltre, problemi d'implementazione dell'LCC "ambientale". Ciò è dovuto soprattutto all'assenza di sistemi informativi aziendali complessi, tipicamente fuori dalla portata delle piccole e medie imprese, e alla scarsa visibilità dei risultati concretamente ottenibili mediante il suo impiego ai fini gestionali aziendali. Una più approfondita discussione degli aspetti algebrici del LCC contribuirebbe, invece, a realizzare una modellizzazione dei sistemi economico-produttivi che tenga conto congiuntamente di istanze contabili, ambientali e tecnologiche.

2. Scopo della ricerca

L'obiettivo generale è quello di rilevare, con l'ausilio di evidenze applicative su casi di studio concreti, quali siano le potenzialità della contabilità ambientale d'impresa nel suo duplice aspetto "fisico" e "monetario", al di là del mero *reporting*. A questo proposito, si presta attenzione alla configurazione e conduzione dei cicli tecnologici come filiere di processi tra loro interconnessi, nonché alla progettazione e alla gestione dei prodotti nelle diverse fasi del ciclo di vita. Questi aspetti possono efficacemente contribuire alla diagnosi e controllo integrato delle inefficienze, dei carichi ambientali e dei relativi costi. Il risultato atteso è un modello tecnologico per l'effettiva integrazione tra contabilità fisica e analitica. Tale modello è formalizzato in un procedimento di calcolo basato sull'analisi input-output e sufficientemente generalizzato da poter essere implementato a prescindere da requisiti specifici in termini di sistemi informativi.

3.Strumenti impiegati

L'analisi Input-Output (IOA) fornisce un linguaggio matematico efficace per analizzare il network dei flussi di materia, energia e inquinanti all'interno della singola organizzazione o tra organizzazioni diverse e di trasformare successivamente tali flussi fisici in transazioni economiche. L'implementazione dell'Analisi di Monte Carlo consente di caratterizzare i risultati del modello in termini non-deterministici. Si può tenere conto, infine, della gerarchia temporale della produzione utilizzando i principi dell'IOA dinamica.

4. Risultati

È stato individuato un approccio analitico rigoroso che, attraverso l'evidenza formale, generalizza, a beneficio della trasparenza e della comprensibilità, le logiche e le ipotesi sottese alle modalità con cui devono essere espletati i calcoli necessari a svolgere un'LCC coerente – da un punto di vista teorico – con l'LCA. Nel fare questo, si è cercato di scegliere il miglior connubio tra complessità delle elaborazioni ed esiti delle stesse.

Il procedimento di calcolo proposto si articola in fasi dettagliate che, basandosi sui principi della contabilità input-output fisica ed analitica, possono essere implementate utilizzando comuni fogli di calcolo elettronici.

Seguendo tale procedimento si rappresentano in modo accurato, già in fase di progettazione e pianificazione, i complessi processi aziendali relativi alla produzione ma anche alla gestione del sistema di prodotto, identificando e rappresentando esplicitamente le inefficienze e gli sprechi, in senso ampio, come parte integrante del modello. Ulteriori elementi di complessità possono essere introdotti nell'analisi per tener conto della gerarchia temporale della produzione (dinamica) e dell'incertezza associata ai parametri del modello e delle modalità in cui questa determina la variabilità dei risultati attesi.
Il risultato finale consiste in uno schema completo di *Enterprise Input-Output Accounts,* cioè un sistema contabile complementare rispetto alla contabilità ordinaria e dei costi normalmente in uso, che rileva i flussi di materia e i rapporti economici intercorrenti tra diverse unità di produzione entro una singola organizzazione nonché tra le singole organizzazioni ed il mercato esterno. La possibilità di contabilizzare grandezze economiche oltre che fisiche mediante una contabilità di questo tipo consente di valorizzare le relazioni input-output fisiche in relazioni di costo-provento determinate dal rapporto fornitore-cliente intercorrente tra processi sequenziali, così realizzando un sistema di contabilità ambientale pienamente duale.
In questo modo sono stati evidenziati da un punto di vista formale gli effetti che le scelte di produzione possono avere sui costi, rivolgendo una particolare attenzione a parametri di esercizio e condizioni operative dei cicli produttivi. Inoltre, l'orientamento alla filiera o "ciclo di vita fisico" consente di individuare margini di simultanea riduzione dei costi e degli impatti ambientali che vanno al di là delle possibilità delle organizzazioni singolarmente intese.

5. Contributo originale per l'LCA

La struttura di calcolo dell'LCC non può essere trascurata se si intende delineare un modello di LCC coerente con l'LCA da un punto di vista formale e procedurale. Piuttosto che enfatizzare la determinazione dei costi della protezione ambientale o i costi ambientali difficilmente quantificabili, l'accezione di LCC proposta consente di calcolare in modo trasparente le ripercussioni in termini di costo associate ai flussi di materia ed energia rilevati nell'inventario del ciclo di vita. Questo permette al management di valutare con precisione, secondo criteri causali, le ripercussioni sui costi che possono avere le scelte produttive attuali e prospettiche.

6. Conclusioni e prospettive future

LCA e LCC sono spesso implementati separatamente. Approfondire le analogie tra le rispettive strutture di calcolo consente di non limitare a priori l'applicazione del LCC ai soli beni durevoli; porre meno enfasi su costi ambientali di difficile quantificazione; esplicitare le modalità di assegnazione dei costi ai diversi oggetti di costo sulla base dei flussi fisici nelle fasi rilevanti del ciclo di vita; individuare i parametri operativi effettivamente controllabili, date le relazioni tra gli attori che operano lungo tale filiera; evitare un'eccessiva enfasi su metodologie note ma scarsamente diffuse presso le imprese piccole e medie. Ricerche future dovrebbero includere aspetti di ottimizzazione.

7. Bibliografia

[1] Settanni E. (2009): Elaborazione ed implementazione di un modello tecnologico di Life Cycle Costing. Tesi di Dottorato in Scienze Merceologiche, XXI ciclo. Università degli Studi di Bari

3° CLASSIFICATO

Valutazione tramite LCA del fine vita di scorie: valorizzazione del rifiuto ed influenza della prospettiva temporale nello smaltimento in discarica

Grazia Barberio (grazia.barberio@enea.it)

ENEA

1. Basi scientifiche

Questo lavoro attiene alla valutazione dei profili ambientali nel fine-vita di scorie derivanti dall'incenerimento di RSU[28] e costituisce un valido esempio di come il LCA possa identificare le soluzioni più sostenibili nel settore dei rifiuti. Infatti è noto l'utilizzo del LCA come strumento della sostenibilità perché in grado di supportare le decisioni nella comparazione di sistemi di gestione integrata dei rifiuti e di sottolineare le criticità ambientali. In questo lavoro si sono affrontati aspetti metodologici di definizione dei confini del sistema e orizzonte temporale che, assieme all'allocazione multi-input, risultano essere le principali problematiche di tale applicazione [1a:l].

Infine il contesto normativo europeo[29] prevede il Life Cycle Thinking come strumento per una corretta gestione dei rifiuti grazie alla sua validità nella prevenzione del rifiuto stesso attraverso l'ecoprogettazione, nel delineare strategie di gestione dei rifiuti e nel comparare scenari di fine vita.

2. Scopo della ricerca

Lo scopo di questo studio è l'individuazione della migliore soluzione per il trattamento delle scorie confrontando la soluzione convenzionale di smaltimento in discarica con una tecnica innovativa di riciclo per produrre fritta vetrosa utilizzata negli smalti ceramici.

La tecnica di smaltimento innovativa prevede un pretrattamento delle scorie attraverso un processo di macinazione e separazione dei metalli (ferro e alluminio) pari a ~8%. Le scorie pretrattate vengono utilizzate fino al 100% nella miscela della fritta in sostituzione delle materie prime.

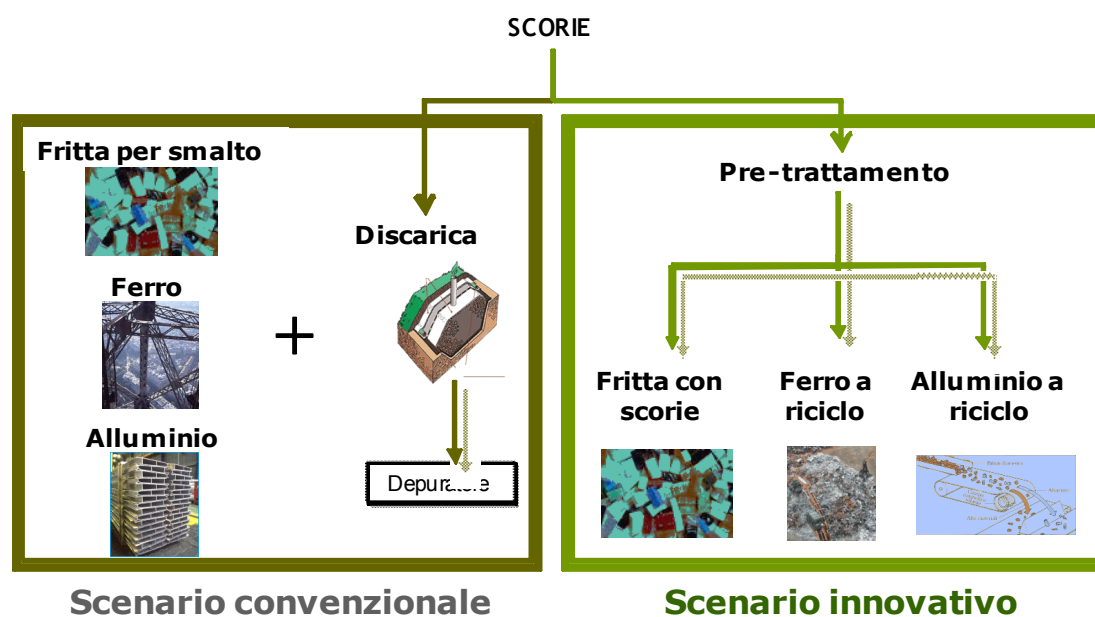



Fig. 1 – *Confini del sistema per gli scenari analizzati, con l'espansione dei confini operata*

[28] RSU: Rifiuti Solidi Urbani.

[29] "Thematic Strategy on the prevention and recycling of waste" (COM 2005/666).

Tale tecnica consente l'immobilizzazione degli inquinanti residui, dimostrata anche da test di lisciviazione condotti sul prodotto finale.
Per comparare questi due sistemi, è stata fatta un'espansione dei confini del sistema che includa le funzioni aggiuntive di produzione di fritta tradizionale e recupero di metalli (Fig. 1).
La ricerca ha anche messo in evidenza l'impatto delle emissioni dovute alla discarica nel lungo periodo.

3. Strumenti impiegati

È stato utilizzato il codice SimaPro7 per lo studio di LCA, che consente di ottenere gli impatti ambientali degli scenari analizzati. Essi sono ottenuti costruendo, per i sistemi descritti, sottoprocessi con ulteriori processi sia da database (prevalentemente Ecoinvent) che ex-novo. Per inventariare i dati di questi nuovi processi sono stati utilizzati modelli di calcolo rinvenuti in letteratura [2] o fogli di calcolo appositamente elaborati per la stima dei dati.

4. Risultati

La valutazione degli impatti degli scenari e della loro comparazione è stata effettuata con il metodo IMPACT 2002+.
I risultati dell'analisi comparativa tra scenario innovativo e convenzionale mostrano come il primo abbia un profilo ambientale migliore del secondo in tutte le categorie di impatto. In Fig.2 la normalizzazione dei risultati permette di individuare le categorie più significative: Carcinogens, Non–Carcinogens, Respiratory Inorganics, Acquatic-Ecotoxicity, Acquatic-Acidification Global Warming, Non-Renewable Energy and Mineral Extraction.
La riduzione di impatti è da imputare ad una migliore prestazione ambientale della produzione innovativa di fritta. Infatti, il pretrattamento delle scorie e il successivo trasporto hanno un impatto inferiore rispetto a produzione e trasporto di tutte le materie prime necessarie per la fritta convenzionale con riduzione che va dal 25% per il "Land-Occupation" al 99% per il "Mineral Extraction". Inoltre, durante la vetrificazione in fornace della miscela, vene emesso CO_2 per dissociazione dei carbonati presenti nella miscela; poiché le scorie hanno un minore contenuto di carbonati rispetto alla miscela convenzionale, lo scenario innovativo presenta riduzioni di emissioni dirette di CO_2. Ulteriore vantaggio del processo innovativo è da ricercare nel riciclo di alluminio e ferro, separati nel pretrattamento delle scorie.
Da questa analisi appare che il peso dello smaltimento in discarica è trascurabile rispetto agli impatti di tutto il sistema ed è dovuto al trattamento del percolato (unica emissione diretta considerata in quanto lo smaltimento di scorie non genera biogas) generato durante la fase di gestione della discarica.
Per meglio comprendere il ruolo della discarica è stata effettuata una valutazione dello scenario convenzionale sia nel breve periodo (100 anni) che nel lungo periodo (tempo infinito) (Tab. 1).
Il sistema discarica prevede la costruzione, una fase di attività-16anni- (recepimento rifiuti, raccolta e trattamento del percolato), una di gestione e controllo successiva alla chiusura-30anni- (raccolta/trattamento percolato) e l'ultima fase senza alcun controllo (tutte il percolato va in ambiente). L'analisi comparativa condotta mette in risalto gli effetti dovuti alla differenze di durata di quest'ultima fase e del compartimento ambientale recettore del percolato (suolo nel breve periodo, falda nel lungo periodo). Dai risultati si può osservare come nel lungo periodo gli impatti della discarica diventano significativi rispetto al totale, soprattutto nella categoria "Aquatic-Ecotoxicity" (a causa dell'alluminio emesso in falda) e successivamente in "Non-Carcinogens" (dovuto a zinco e alluminio) e "Eutrophication" (a causa del fosforo).
Questi impatti in acqua derivano dalle emissioni di percolato generato nell'ultima fase della discarica in seguito alla completa lisciviazione delle scorie.

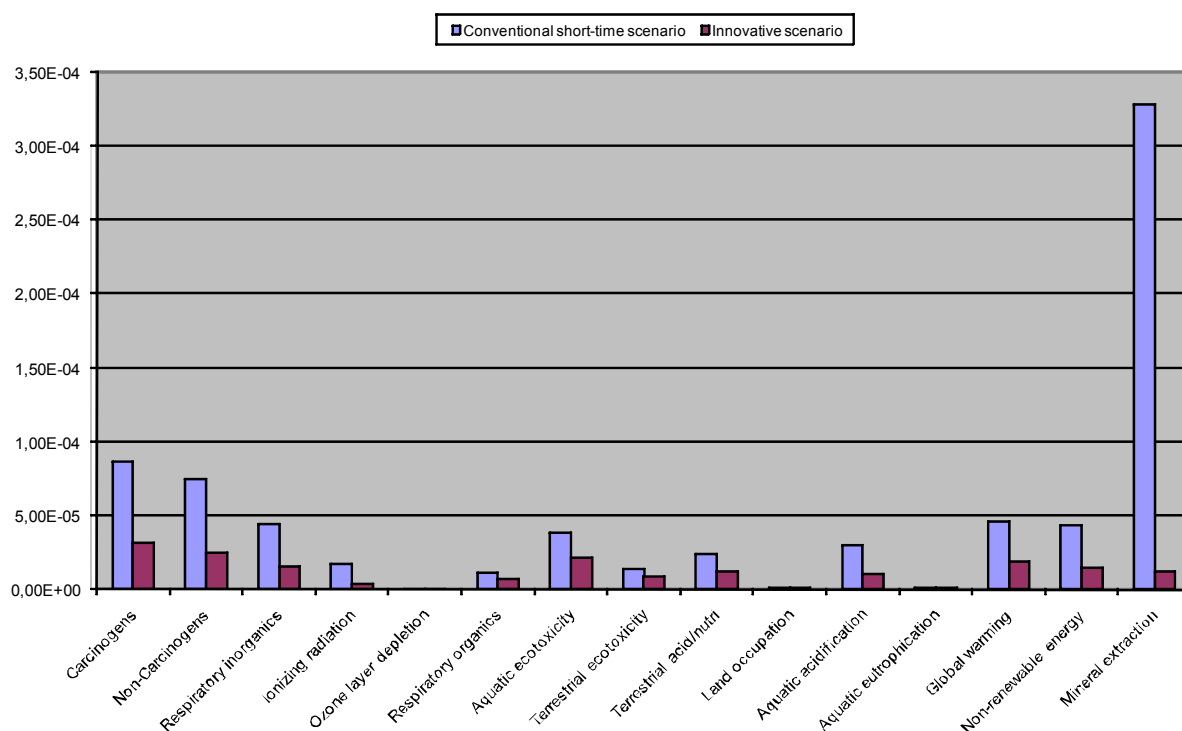



Fig. 2 – *Normalizzazione dell'analisi comparativa tra senario innovativo e convenzionale*

Categorie di Impatto	Unità di misura	Scenario convenzionale - lungo periodo	Scenario convenzionale – breve periodo
Carcinogens	kg C_2H_3Cl	3,93E-03	3,93E-03
Non-Carcinogens	kg C_2H_3Cl	5,31E-01	1,29E-02
Respiratory inorganics	kg PM2.5	3,88E-04	3,88E-04
Ionizing radiation	Bq C-14	9,28E+00	9,28E+00
Ozone layer depletion	kg CFC-11	4,22E-08	4,22E-08
Respiratory organics	kg ethylene	1,42E-04	1,42E-04
Aquatic Ecotoxicity	kg TEG water	2,41E+05	5,17E+01
Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	1,62E+01	1,62E+01
Terrestrial acid/nutri	kg SO_2	7,40E-03	7,40E-03
Land occupation	m2org.arable	3,74E-03	3,74E-03
Aquatic acidification	kg SO_2	1,95E-03	1,95E-03
Aquatic Eutrophication	kg PO4 P-lim	2,36E-02	1,58E-05
Global warming	kg CO_2	4,53E-01	4,53E-01
Non-renewable energy	MJ primary	6,60E+00	6,60E+00
Mineral extraction	MJ surplus	9,59E-02	9,59E-02

Tab. 1 – *Risultati della caratterizzazione dell'analisi della discarica nel breve e nel lungo periodo*

5. Contributo originale per l'LCA

In questo lavoro sono stati affrontati aspetti metodologici di modellizzazione del sistema quali: **espansione dei confini** ed **estensione degli orizzonti temporali**.

Il primo scaturisce dall'analisi comparativa di differenti scenari di fine vita aventi la funzione del trattamento delle scorie ma anche funzioni addizionali che, come descritto, sono state prese in considerazione.

Il secondo aspetto rappresenta una soluzione alla problematica dello smaltimento in discarica, su cui è tutt'ora accesa la discussione della comunità scientifica [3a:f] per conseguire una valutazione che tenga conto dell'utilizzo di risorse e territorio, del rilascio nel tempo di inquinanti allocati alla composizione del rifiuto che li genera.

6. Conclusioni e prospettive future

Questo lavoro ha messo in evidenza aspetti importanti del fine vita delle scorie, offrendo spunti di riflessione sulle modalità attraverso cui operare un migliore sfruttamento delle risorse e una riduzione degli impatti ambientali complessivi (vantaggi della valorizzazione).
Le prospettive di questo lavoro sono duplici: l'elaborazione di fattori di normalizzazione idonei a rappresentare la problematica del rilascio nel tempo, rispetto ad un lungo periodo, degli inquinanti presenti nel rifiuto conferito in discarica; la valutazione della tecnica di riutilizzo del rifiuto che, se analizzata in maggior dettaglio, può conseguire soluzioni di miglioramento del prodotto e della sua penetrazione sul mercato.

7. Bibliografia

[1a] Clift, R., A. Doig, and G. Finnveden. 2000. The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. Part 1: Methodology. *Process Safety and Environmental Protection*. *78*(4): 279-287.

[1b] Ekvall, T. and G. Finnveden. 2000. The application of LCA to integrated solid waste management. *Transaction of the Institution of Chemical Engineers*. 78(Part B): 288-294.

[1c] Ekvall, T., G. Assefa, A. Björklund, O. Eriksson, and G. Finnveden. 2007. What life-cycle assessment does and doesn't do in assessments of waste management. *Waste Management*. 27(8): 989-996.

[1d] Eriksson, O., M. Carlsson Reich, B. Frostell, A. Bjo¨rklund, G. Assefa, J.-O. Sundqvist, J. Granath, A. Baky, and L. Thyselius. 2005. Municipal solid waste management from a systems perspective. *Journal of Cleaner Production*. 13(3): 241–252.

[1e] Finnveden, G. 1996. Solid Waste Treatment within the Framework of Life Cycle Assessment. *International Journal LCA*. 1(2): 74-78.

[1f] Finnveden, G. 1999. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*. 26(3-4): 173-187.

[1g] Giegrich, J. 2003. System Boundaries for LCA in Waste Management. Communication to The International Expert Group on life cycle assessment for integrated waste management (IEG).

[1h] Heijung, R. and J. B. Guinée. 2007. Allocation and "what if" scenarios in life cycle assessment of waste management systems. *Waste management*. 27(8): 997-1005.

[1i] Nielsen, P.H. and M. Hauschild. 1998. Product specific emissions from municipal solid waste landfills, Part I: landfill model. *International Journal of LCA*. 3(3): 225-236.

[1l] Sundqvist, J.O. 1999. *Life Cycles assessments and solid waste- guidelines for solid waste treatment and disposal in LCA*. IVL, Swedish Environmental Research Institute. AFR-REPORT 279, ISSN 1102-6944 Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency.

[1m] White, P., M. Francke, and P. Hindle. 1995. Integrated waste management. Life Cycle Inventory. In *Integrated Solid Waste Management – A Lifecycle Inventory*, edited by Blackie Academic & Professional. Chapman & Hall, London.

[2] Doka, G. 2003. *Landfills – Underground Deposits- landfarming*, part III and *Wastewater treatment*, part IV edited by Ecoinvent. Report n°13. Dubendorf.

[3a] Björklund, A. 2003. Landfill and time perspective. Environmental Strategies Research Group, prepared for the IEG meeting, May 15-16, Heidleberg.

[3b] Doka, G. and R. Hischier. 2005. Waste treatment and assessment of long-term emissions International *Journal of Life Cycle Assessment*. 10(1): 77-84.

[3c] Hauschild M, S.I.Olsen, E. Hansen, A. Scmidt. 2008. Gone…but not away-addressing the problem of long.term impacts from landfills in LCA. *International J. of LCA*. 13:547-554.

[3d] Hellweg, S., T. B. Hofstetter, and K. Hungerbuhler. 2005. Time-Dependent Life-Cycle Assessment of Emissions from Slag Landfills with the Help of Scenario Analysis. *Journal Cleaner Production*. 13(3): 301-320.

[3e] Kjeldsen, P., M. A. Barlaz, A. P. Rooker, A. Baun, A. Ledin, and T. H. Christensen. 2002. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 32(4): 297-336.

[3f] Pattersen J and E. G. Hertwich. 2008. Critical review: LCI procedures for Long-term release of metals. *Environ. Sci. Technol.* 42(13): 4639-4647.